



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS Sm-Nd DOS DIQUES ARAUÁ
DA PORÇÃO NORDESTE DO CRÁTON SÃO FRANCISCO**

JOEMIR OLIVEIRA ANDRADE

ORIENTADOR: Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz

São Cristóvão - SE

2019

JOEMIR OLIVEIRA ANDRADE

**GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS Sm-Nd DOS DIQUES ARAUÁ
DA PORÇÃO NORDESTE DO CRÁTON SÃO FRANCISCO**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz

Co-orientadora: Profa. Dra. Cristine Lenz

BANCA EXAMINADORA

- A) Prof. Dr. Luiz Alberto Vedana (Membro Interno)
- B) Msc. Luiz Henrique Passos (Membro Externo)
- C) Prof. Dr. Joaquim Daniel de Liz – (Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

São Cristóvão - SE

2019

AGRADECIMENTOS

Gratidão, a gente não caminha só na vida graças a Deus, e a ele sou grato, a ele ou aos bons caminhos que posicionaram tantas pessoas maravilhosas na minha jornada acadêmica, nesse thur geológico.

Agradeço imensamente a minha família, pelo apoio incondicional, em especial ao meu pai Apolônio Andrade, que não se encontra mais entre nós, mas se fez presente na minha formação como ser humano e sempre caminhará comigo em meu coração. A minha mãe, não tenho palavras e nem dimensiono a minha gratidão e admiração, a senhora é luz no caminho dos teus filhos e os verá todos formados, assim como ele queria, agradeço ainda a minha querida avó Aurelina sempre tão preocupada comigo, a minha tia e irmãos, o meu amor.

Amigos dessa caminhada geológica, agradeço a cada ajuda, reunião, conselhos e dramas da graduação, passamos bons apuros hêm, mas crescemos juntos e levarei um pouco de cada um de vocês comigo, a galera do Pool Party Campaches Edit, todo o meu carinho, assim como toda a turma de 2014 e seus agregados, o meu muito obrigado. Aos amigos da a minha terra, “Aracity Bahia Brazil”, a melhor cidade no Nordeste do Brasil, que mesmo distantes se fazem presentes todos os dias o meu muito obrigado, não é o grupo que nos une, mas a sensação de ser presente sem pretensão, a todos vocês, minha gratidão. Estagiários Ambientec e chefia arqueológica, obrigadoo. E sim o G5 é o melhor grupo de campo 5 sim, e tenho dito!!!

A todos os professores a minha estima por todo o conhecimento compartilhado, lembrando com carinho das professoras Adriane, Aracy, Leidiane e Lourdes. A professora Edilma um agradecimento especial pelos conselhos e acolhimento, o meu muito obrigado.

Aos meus orientadores e amigos, a professora Cristine Lenz e o professor Joaquim Daniel de Liz, toda a minha gratidão, respeito e admiração, por toda ajuda, comprometimento, e paciência no decorrer dessa jornada, muito obrigado.

A todos os demais que contribuíram em qualquer aspecto com a minha caminhada, tenham a minha gratidão.

RESUMO

Na porção nordeste do Cráton São Francisco aflora um enxame de diques denominado de Diques Arauá. Estes diques representam as últimas manifestações magmáticas do pós-colisional Orosiriano do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. Estudos realizados demonstraram que o enxame de diques é composto por três tipos principais de rochas: metariolitos, riolitos e intermediárias (andesitos e monzodioritos). Na região, estes diques apresentam direção NW-SE e encontram-se encaixados nas rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real – Itabaianinha – Riachão do Dantas e no Complexo Granulítico Esplanada – Boquim. A litoquímica dos Diques Arauá sugere que os diques riolíticos são compatíveis com magmatismo tipo-A, os metariolíticos possuem afinidade cálcio-alcálica alto potássio, enquanto que os diques intermediários apresentam afinidade cálcio-alcálica médio potássio. Estas rochas possuem características geoquímicas em comum, marcadas por anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e Sr, que sugerem fontes relacionadas com subducção. Diversos pesquisadores sugeriram a possibilidade do envolvimento de assimilação crustal na geração dos diques, no entanto essa hipótese nunca foi comprovada. Neste trabalho foi efetuado um estudo litogeoquímico dos diques, que indicou uma similaridade de padrões geoquímicos destes com as rochas metamórficas do embasamento. Os resultados isotópicos de Sm-Nd dos Diques Arauá apresentaram valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ essencialmente negativos, que evidenciam diferentes graus de contaminação crustal na geração dessas rochas. Esses dados demonstraram que as rochas do Complexo Granulítico Esplanada – Boquim podem representar parte dos contaminantes, sendo a outra parte representada por rochas mais antigas, ainda não conhecidas.

Palavras-chave: Pós-colisional; Contaminação Crustal; Orosiriano

ABSTRACT

In the northeastern portion of the São Francisco Craton outcrops a swarm of dykes called the Arauá Dykes. These dykes represent the last magmatic manifestation from the post-collisional Orosirian of the Belt Salvador-Esplanada-Boquim. Studies have shown that the swarm of dykes is composed of three main types of rocks: metarhyolites, rhyolites and intermediates (andesites and monzodiorites). At this region, these dykes present NW-SE direction and are embedded by the rocks of the Gnáissico-Migmatítico Complex Rio Real - Itabaianinha - Riachão do Dantas and the Granulitic Complex Esplanada - Boquim. The lithochemistry of the Arauá Dykes suggests that rhyolitic dikes are compatible with A-type magmatism, the metarhyolites have high potassium calcium-alkaline affinity, while the intermediate dykes present medium calcium-alkaline potassium affinity. These rocks have common geochemical characteristics, marked by negative anomalies of Nb, Ta, Ti and Sr, which suggest sources related to subduction. Several researchers have suggested the possibility of involving crustal assimilation in the generation of dikes, but this hypothesis has never been proven. In this work a litogeochemical study of the dykes was carried out, which indicated a similarity of geochemical patterns with the metamorphic rocks of the basement. The Sm-Nd isotopic results of the Arauá Dykes showed essentially negative $\epsilon_{Nd}(t)$ values, which show different degrees of crustal contamination in the generation of these rocks. These data demonstrated that the rocks of the Esplanada - Boquim Granulitic Complex may represent part of the contaminants, the other part being represented by older rocks, not yet known.

Keywords: Post-collision; Crustal Contamination; Orosirian

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 14 |
| 1.2 Localização e Vias de Acesso..... | 14 |
| 1.3 Materiais e métodos..... | 15 |
| 1.3.1 Compilação Bibliográfica..... | 15 |
| 1.3.2 Trabalho de Campo | 16 |
| 1.3.3 Geoquímica isotópica | 16 |
| 1.3.4 Integração de Dados..... | 17 |
| 1.3.5 Redação do Trabalho | 18 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 19 |
| 2.1 Introdução ao método Sm/Nd | 19 |
| 2.2 Análise do Sm/Nd em laboratório..... | 20 |
| 3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL..... | 22 |
| 3.1 O Cráton São Francisco (CSF) | 22 |
| 3.1.1 Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB) | 27 |
| 3.1.2 Outras Ocorrências de diques no Cráton São Francisco | 33 |
| 3.1.3 Faixa de Dobramentos Sergipana..... | 36 |
| 3.1.4 Formações Superficiais | 37 |
| 4. GEOLOGIA LOCAL..... | 39 |
| 4.1 Diques Intermediários (Andesíticos/Monzodioríticos)..... | 42 |
| 4.2 Diques Riolíticos | 44 |
| 4.3 Diques Metariolíticos..... | 46 |
| 5. PETROGRAFIA..... | 47 |
| 5.1 Diques Riolíticos | 47 |
| 5.2 Dique Intermediário - Andesítico | 48 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.3 | Dique intermediário - Microgabróico..... | 49 |
| 5.4 | Diques Metariolíticos..... | 50 |
| 6. | LITOQUÍMICA | 51 |
| 6.1 | Classificação dos diques..... | 51 |
| 6.2 | Elementos maiores | 52 |
| 6.3 | Elementos-Traço..... | 53 |
| 6.4 | Elementos Terras Raras (ETR)..... | 55 |
| 6.5 | CLASSIFICAÇÕES GEOQUÍMICAS E DIAGRAMAS MULTI-ELEMENTARES NORMALIZADOS..... | 57 |
| 6.6 | Ambiente Tectônico | 61 |
| 6.7 | Geoquímica Isotópica Sm-Nd dos Diques Arauá | 62 |
| 7. | DISCUSSÕES..... | 65 |
| 7.1 | Comparações Litogeoquímicas..... | 67 |
| 7.1.1 | Diques Intermediários | 68 |
| 7.1.2 | Diques Riolíticos | 69 |
| 7.1.3 | Diques Metariolíticos..... | 70 |
| 7.2 | Dados isotópicos Sm-Nd..... | 71 |
| 8. | CONCLUSÕES | 73 |
| 9. | BIBLIOGRAFIA | 75 |

Lista Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo..... | 15 |
| Figura 2 - Equação geral isocrônica..... | 21 |
| Figura 3 - a) Representação gráfica da evolução isotópica do Nd <i>versus</i> T (tempo). b) Representação gráfica do sistema Sm-Nd e os parâmetros de idade modelo TDM, TCHUR e ϵ Nd (modificado de DePaolo, 1988). | 21 |
| Figura 4 - Mapa esquemático da geologia do Cráton do São Francisco mostrando seus limites e a distribuição das principais unidades litoestratigráficas. (Modificado de Alkmim <i>et al.</i> , 1993, <i>Apud</i> Souza 2009). | 24 |
| Figura 5 - Mapa esquemático regional posicionando a área pesquisada em relação às principais unidades tectônicas do Cráton do São Francisco na Bahia (simplificado de Barbosa e Sabaté, 2002). | 26 |
| Figura 6 - Mapa geológico simplificado de parte do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (extraído de Oliveira, 2014). | 31 |
| Figura 7 - Distribuição de enxames de diques pré-cambrianos na porção norte. (Modificado Girardi <i>et al.</i> , 2017). | 34 |
| Figura 8 - Distribuição de enxames de diques pré-cambrianos na porção norte (a) e sul (b) do CSF, limitados por faixas neoproterozóicas, o aulacógenos Paramirim (PA), além da Zona de Cisalhamento Jaceaba-Bom sucesso (JBZ). Também são mostradas abreviações dos territórios: U (Uauá), C (Curaçá), L (Lençóis), Br (Brotas de Macaúbas), Lh (Ilhéus), Ol (Oliveira), Di (Diamantina), Pa (Pará de Minas), Bh (Belo Horizonte), Ib (Ibareté), Cl (Cláudio), As (Santo Antônio do Amparo), Cb (Campo Belo), Lv (Lavras), Bs (Bom Sucesso). Enxames de diques: 1) Uauá; 2) Curaçá; 3) Chapada Diamantina-Paramirim (Sistema Espinhaço Norte); 4) Salvador Oliveira; 5) Lavras (arqueano); 6) Lavras (Paleoproterozóico) 7) Paraopeba; 8) Pará de Minas; 9) Diamantina (Sistema Espinhaço Sul), e a área com retângulo vermelho Ar, representa os diques Arauá. Representação da estrutura tectônica do Gondwana, destacando os cinturões Neoproterozóicos e Crátons no canto direito inferior da figura a, sendo: SF (São Francisco), WC (Oeste do Congo), Kal (Kalahari), Rip (Rio da Prata), Am (Amazônia), WA (África Ocidental). (Modificado de Girardi <i>et al.</i> , 2017). A área marcada pelo retângulo em vermelho exemplifica a ocorrência dos diques Arauá em relação aos demais no CSF. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 9 - Domínio tectônico-estratigráfico de Sergipe, modificado de Santos <i>et al.</i> (1998). Exemplificando todas as formações e destacando a área de estudo localizada ao Sul do estado de Sergipe. | 38 |
| Figura 10 – Mapa com a geologia dos Diques Arauá destacando a localização das amostras utilizadas no estudo isotópico. Modificado de Oliveira (2014). .. | 41 |
| Figura 11 – Amostra de dique andesítico porfirítico com pórfiros de plagioclásio envolvidos por matriz afanítica. | 43 |
| Figura 12 – Detalhe de megacristal de plagioclásio do dique monzodiorítico (Amostra CV-36). | 43 |
| Figura 13 – Detalhe de amostra de mão de Dique Riolítico - amostra CIV15003 | 45 |
| Figura 14 – Imagem destacando borda resfriada de dique riolítico, onde é possível observar o aumento da quantidade dos pórfiros de K-feldspato e quartzo em direção ao centro do corpo..... | 45 |
| Figura 15 – Imagem de amostra de Dique Metariolítico, amostra CVA15015. 46 | |
| Figura 16 - Feições petrográficas dos diques de riolito. (a) agregado de fenocristais de K-feldspato (Kfs) com formas arredondadas e borda de reação com a matriz (luz polarizada); (b) textura glomeroporfirítica definida por fenocristais de sanidina (Sa) (luz polarizada), (imagens extraídas de Soares 2015)..... | 48 |
| Figura 17 - Fotomicrografia destacando a feição intrusiva da rocha andesítica no riolito. A massa microcristalina escura do andesito sugere ter sofrido um resfriamento rápido em contato com o riolito, e injetou fraturando o riolito. (a) Luz natural; (b) Luz polarizada, (imagens extraídas de Soares, 2015)..... | 48 |
| Figura 18 - Feições petrográficas dos diques estudados. Dique Andesítico (a) Detalhe da matriz evidenciando a devitrificação marcada por esferulitos radiais definidos por agulhas de minerais opacos e cristais de plagioclásio ripidiformes (luz natural), (b) Amídalas preenchidas por calcita (Cb) envolvidas por clorita (Chl) imersas em matriz hemicristalina (luz polarizada); Dique Microgabroico: (C) Visão geral da rocha, destacando a textura intergranular definida por cristais de plagioclásio (Pl), clinopiroxênio (Cpx), sanidina (As) e minerais opacos (Op) (luz polarizada); (d) Visão geral destacando os intercrescimentos de clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl) (luz polarizada), (Santos, 2018), (imagens extraídas de Santos, 2018)..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 19 - Feições petrográficas e microestruturais do dique de metariolito (Luz Polarizada). (a) cristal de K-feldspato (Kfs) mostrando à dupla macla distribuída heterogeneamente no cristal e pertita em chama; (b) fenocristal de plagioclásio (Pl) zonado com seritização, (imagens extraídas de Soares, 2015). | 50 |
| Figura 20 - Diagrama de classificação química TAS (Le Bas <i>et al.</i> , 1986). | 51 |
| Figura 21 - Diagramas binários de variação (Harker) dos elementos maiores dos Diques Arauá. Valores em percentagem de peso. | 53 |
| Figura 22 - Diagramas binários de variação de elementos-traço (ppm) versus SiO ₂ para os Diques Arauá. | 55 |
| Figura 23 - Padrões dos ETR das amostras do segmento NE dos Diques Arauá. Os teores de ETR das amostras foram normalizados pelo padrão condrítico de (Boynton, 1984). | 56 |
| Figura 24 - Diagrama K ₂ O versus SiO ₂ (Peccherillo & Taylor, 1976). | 57 |
| Figura 25 - Representação das amostras analisadas nos diagramas de Whalen <i>et al.</i> (1987). A: granitos tipo A (anorogênicos); FG: granitos fracionados; OGT: granitos não fracionados; I: granito de fonte ígnea; S: granito de fonte sedimentar. (extraído de Soares 2015). | 58 |
| Figura 26 - Diagrama discriminante de A/CNK versus A/NK (Shand, 1943). ... | 59 |
| Figura 27 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB Pearce (1983), das amostras dos diques intermediários, riolíticos e metariolíticos. | 60 |
| Figura 28 - Diagramas de discriminação tectônica para granitoides (Pearce et al. 1984). ORG = granitos de cordilheiras oceânicas; VAG = granitos de arco vulcânico; WPG = granitos de intraplaca; syn-COLG = granitos sin-colisionais. | 61 |
| Figura 29 - Representação das amostras analisadas no diagrama Y-Ce-Nb (Eby 1992). A1, granito relacionado a fonte derivada de magma basáltico intraplaca similar a basalto de ilha oceânica (OIB); A2, granito relacionado a fonte litosférica subcontinental ou a crosta inferior. | 62 |
| Figura 30 – Mapa geológico dos Diques Arauá destacando as idades modelo (TDM) obtidas neste trabalho. | 63 |
| Figura 31 - Diagrama eNd versus tempo geológico T(Ga). Os dados isotópicos encontram-se na tabela 2. | 64 |
| Figura 32 – Mapa geológico dos Diques Arauá com a localização dos dados geoquímicos e isotópicos Sm-Nd utilizados no trabalho. Os dados geoquímicos | |

| | |
|--|----|
| foram compilados de Soares (2015) e Santos (2018), enquanto que os dados isotópicos Sm-Nd compreendem 3 dados inéditos, 5 obtidos de D'el-Rey Silva (2005) e 1 de Oliveira (2014). | 66 |
| Figura 33 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce, 1983), com comparação entre as amostras dos diques intermediários e os granulitos Ch-Ed e Ed2. | 68 |
| Figura 34 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce 1983), comparação dos diques riolíticos com a encaixante MCh, e rochas do CGMRIR. | 69 |
| Figura 35 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce 1983), comparando as encaixantes MCh e rochas do CGMRIR. | 70 |
| Figura 37 - Análises dos dados isotópicos, mostrando a plotagem dos diques apresentados nesse trabalho, além dos exemplificados por D'el-Rey Silva (2005) e dados do embasamento mostrados por Oliveira (2014). | 72 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Amostras utilizadas para aquisição de dados isotópicos. | 17 |
| Tabela 2 – Dados isotópicos Sm-Nd de três amostras dos Diques Arauá. Dados de $eNd(t)$ calculados com base na idade de cristalização de 2.015 Ma (Oliveira, 2014)..... | 63 |
| Tabela 3 – Compilação dos dados isotópicos Sm-Nd dos Diques Arauá. Autores: 1- este trabalho; 2- D’el-Rey Silva (2005); 3 – Oliveira (2014)..... | 72 |

1. INTRODUÇÃO

Enxames de diques ocorrem comumente associados a eventos tafrogenéticos ou pós-tectônicos extensionais na história geológica. No Cráton São Francisco (CSF) são identificados diversos enxames de diques de idades diferentes, grande parte deles associados a períodos extensionais e raros pós tectônicos, possibilitando dessa forma o entendimento aos processos tectono-magmáticos dos quais o CSF foi submetido durante a sua história evolutiva.

No CSF foram descritas cerca de quatro associações de diques, de composição essencialmente máfica, sendo elas de idade: entre 2,7 e 2,6 afluente na região de Lavras e Uauá, entre 2,1 a 1,7 Ga em Paraopeba, Pará de Minas, Uauá e Arauá, em torno de 1,5 Ga na Chapada Diamantina e Curaçá e de 0,9 Ga em Diamantina e Salvador-Olivença. As afinidades desses diques segundo Girardi *et al.* (2017) são atribuídas a diversas fontes, como N-Morb, OIB e fusões e fluidos da crosta subductante. A composição dominante dos diques supracitados é toleítica, ocorrendo também noritos e raras ocorrências de diques intermediários a ácidos (Girardi *et al.* 2017; Oliveira, 2014; Soares, 2015; Santos, 2018).

Na região de Arauá, setor setentrional do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim aflora uma sequência de diques de composição intermediária e ácida. Trabalhos anteriores revelaram uma série de características desse enxame, tais como petrografia, composição química, idades U-Pb e dados isotópicos (Del Rey, 2005; Fontes, 2011; Passos, 2012; Oliveira, 2014; Soares, 2015; Santos, 2018).

No presente trabalho esses dados foram compilados e adicionados novos dados de geoquímica isotópica, além disso os dados foram comparados com dados do embasamento da região para a identificação do possível contaminante das rochas intermediárias a ácidas, encontradas de forma localizada nessa região do CSF.

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo principal a compreensão das características geoquímicas e isotópicas dos Diques Arauá.

Sendo necessária compilações de trabalhos, teses e publicações, tanto dos diques Arauá quanto das rochas do embasamento, abrangendo tanto o Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real - Itabaianinha – Riachão do Dantas (CGMRIR), quanto o Complexo Granulítico Esplanada – Boquim (CGEB).

Gerando assim Comparação através de gráficos dos dados da literatura e discussão dos novos dados isotópicos obtidos nesse trabalho.

1.2 Localização e Vias de Acesso

A área estudada encontra-se situada entre os municípios, de Riachão do Dantas, Boquim e Pedrinhas, localizados na parte sul do estado de Sergipe, no extremo nordeste do Cráton São Francisco. O acesso a área pode ser efetuado partindo-se de Aracaju pela BR-101, em direção sul, por aproximadamente 35 km, onde inflete-se para noroeste seguindo pela rodovia SE-270 por 20 km até o entroncamento com a SE-160. Nesta rodovia segue-se na direção sul-sudoeste por mais 29 km até o início da área que coincide com a cidade de Pedrinhas (Figura 1).

O local de estudo está inserido na Folha Boquim (SC.24-Z-C-III) entre as coordenadas UTM (zona 24S) 637.775mE, 8.768.609mN e 646.305mE 8.759.610mN.

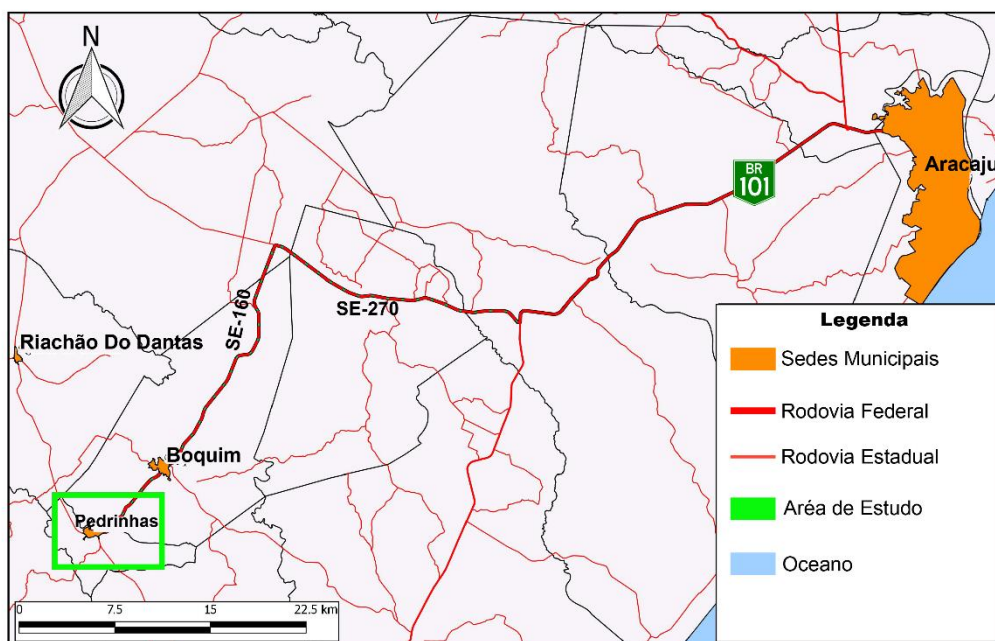


Figura 1 - Imagem de localização e vias de acesso à área de estudo.

1.3 Materiais e métodos

O presente trabalho apresentou 5 etapas com o intuito de atingir os objetivos pré-definidos, sendo elas: 1 - Compilação bibliográfica; 2 - Trabalho de Campo, 3 - Geoquímica isotópica; 4 - Integração de Dados, 5 - Redação do Trabalho.

1.3.1 Compilação Bibliográfica

Nesta etapa foram compilados os dados de livros, artigos científicos, dissertações de mestrado, monografias e teses de doutorado. A aquisição destes dados teve como objetivo reunir informações sobre a geologia do Cráton São Francisco, principalmente relacionadas aos Diques Arauá e sua geoquímica, além de fundamentar a teoria para as interpretações dos dados reunidos.

1.3.2 Trabalho de Campo

Foi realizada uma campanha de campo na área de estudo, no período de 16 a 18 de fevereiro de 2019, que totalizaram 3 dias. Neste trabalho de campo foi utilizado um GPS da marca Garmin, modelo Etrex H para aquisição da localização dos afloramentos. Este equipamento foi configurado para disponibilizar as coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator) no Datum WGS-84. Na medição das estruturas das rochas foi utilizada uma bússola de marca Brunton, modelo Com-Pro Transit 5008. Nas descrições macroscópicas das amostras foram utilizadas lupas de mão com aumento de 30x.

Nesta campanha de campo foram desenvolvidas as seguintes atividades:

- Visão geral dos afloramentos seguido pela medida das espessuras e atitudes dos diques e das rochas encaixantes;
- Descrição sistemática dos afloramentos abrangendo a identificação das estruturas, texturas e mineralogia dos diques e rochas encaixantes;
- Coleta de amostras dos diques para estudo em laboratório petrográfico e litogeoquímico.

1.3.3 Geoquímica isotópica

Para a geoquímica isotópica foram selecionadas três amostras representativas dos Diques Arauá, sendo uma riolítica (CIV15003), uma monzodiorítica (CV36) e uma do metariolítica (CVA15015) (Tabela 1). Estas amostras foram submetidas a análises isotópicas de Nd no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso UFPA).

O equipamento utilizado foi o espectrômetro de massa ICP multi-coletor Thermo-Finnigan Neptune equipado com um sistema de nove coletores de íons em modo Faraday. Aproximadamente 100 mg de amostra de rocha foi misturada a um spike de $^{149}\text{Sm}/^{150}\text{Nd}$ e dissolvida nos ácidos HNO_3 , HCl e bombas de

Teflon Savillex em forno microondas. Um procedimento cromatográfico de troca iônica de duplo estágio foi utilizado para a purificação dos elementos Nd e Sm. A primeira etapa consistiu na elutriação das amostras de colunas de Teflon preenchidas com resina catiônica (Biorad Dowex AG 50W-X8) usando os ácidos HCl e HNO₃. No estágio seguinte, os elementos Sm e Nd foram separados dos outros ETRs com o objetivo de evitar interferências isobáricas dos ETRP (Yang *et al.* 2012). A solução de ETR foi adicionada a colunas de Teflon preenchidas por resina Eichrom Ln, sendo que a fração de Nd foi coletada após elutriação de 7,3 ml de HCl 0,2N e o Sm foi coletado após elutriação de 5 ml de HCl 0,2N e 7 ml de HCl 0,3N. Os elementos Sm e Nd foram dissolvidos para análise em 2 ml de HNO₃ 3%. Os cálculos de incerteza para as razões Sm/Nd e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd são baseados nas análises repetidas dos materiais de referência BCR-1 e La Jolla, respectivamente (Oliveira *et al.* 2008). As composições isotópicas de Nd foram normalizadas para ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd= 0,7219, cuja constante de decaimento utilizada foi o valor revisado por Lugmair & Marti (1978) de 6,54 x 10⁻¹².y⁻¹.

Tabela 1 - Amostras utilizadas para aquisição de dados isotópicos.

| Amostra | UTME | UTMN | ROCHA | Utilização |
|----------|---------|-----------|--------------|----------------------|
| CIV15003 | 646.973 | 8.757.520 | Riolito | Geoquímica isotópica |
| CV36 | 640.537 | 8.765.007 | Monzodiorito | Geoquímica isotópica |
| CVA15015 | 645.450 | 8.755.877 | Metariolito | Geoquímica isotópica |

1.3.4 Integração de Dados

Nesta etapa foram integrados os dados de campo, petrográficos e geoquímicos e comparados com dados bibliográficos. Dessa forma foi possível classificar, caracterizar e interpretar de forma mais detalhada esses corpos ígneos que compõem os diques Arauá da área de estudo.

1.3.5 Redação do Trabalho

A redação do trabalho reúne os dados obtidos no campo, petrográficos e geoquímicos, bem como as classificações, interpretações e comparações com dados bibliográficos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico será apresentada um resumo sobre o método Sm/Nd, com o objetivo de auxiliar no entendimento da técnica e fundamentar a comparação dos Diques Arauá com as rochas do embasamento.

2.1 Introdução ao método Sm/Nd

O Samário é um elemento constituinte do grupo dos elementos terras raras leves, pertencente aos lantanídeos, tem sua ocorrência natural na forma de sete isótopos, dos quais três são radiogênicos e somente um (^{147}Sm) é utilizado na geocronologia. O processo de decaimento do ^{147}Sm ocorre por emissão de partícula α para o isótopo estável ^{143}Nd , Faure (2005). Apesar de o ^{147}Sm ter meia-vida longa ($T_{1/2} = 1,06 \times 10^{11}$ anos; $\lambda = 6.54 \times 10^{-12}$ anos $^{-1}$), existem pequenas diferenças na abundância do isótopo filho ^{143}Nd que podem ser medidas, o que torna possível a datação pelo método Sm-Nd Dickin (2005). No processo de fusão parcial do manto o Sm tende a permanecer no *solidus* retido na estrutura cristalinas dos minerais, ao passo que o Nd, por ser mais incompatível que o Sm, tende a se concentrar no *liquidus* e ascender às porções mais rasas da litosfera. O aumento da quantidade de isótopo radiogênico ^{147}Sm no manto resulta na elevação das razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ com relação a crosta. Consequentemente, a crosta se enriquece em Nd e as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ permanecem baixas.

O fracionamento isotópico do sistema Sm-Nd na Terra é reproduzido a partir de curvas evolutivas DePaolo e Wasserburg, (1976) e DePaolo, (1981). A curva evolutiva *chondritic uniform reservoir* (CHUR) representa um sistema isotópico ideal, consolidada a partir da análise de meteoritos condriticos e estima a composição inicial do sistema solar. Adicionalmente, a evolução do manto é reproduzida por uma curva denominada *depleted mantle* (DM), que reflete o processo de diferenciação magmática do manto.

O sistema Sm/Nd difere totalmente dos outros sistemas isotópicos atualmente em uso, uma vez que estes dois elementos mostram comportamentos químicos iguais. Por outro lado, o K, Rb e Pb com os seus pares

Ar, Sr, U e Th mostram diferentes comportamentos químico e físico. Assim, as razões pai/filho para estes sistemas podem ser drasticamente modificadas durante processos geológicos de condições até mesmo brandas, enquanto que o sistema Sm/Nd pode-se manter intacto.

2.2 Análise do Sm/Nd em laboratório

Em Sato *et al.* (1998) é apresentado de forma resumida, os procedimentos de preparação de amostras para análises isotópicas (digestão química, eluição, preparação e calibração das colunas de troca catiônica, deposição das amostras, análises espectrométricas e cálculos de diluição isotópica).

1 - As amostras depois de adicionados os "spikes" combinados ^{149}Sm e ^{150}Nd em dosagens adequadas, em cada caso, são atacadas em copo de savilex utilizando-se soluções ácidas ($\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HC}_1$). No caso da presença de granada, zircão e de outros minerais refratários as amostras são atacadas dentro de uma bomba do tipo Par a 180°C .

2 - Após a digestão química, a separação de Sm e de Nd é efetuada em duas etapas. Na primeira, as ETR são separadas mediante utilização de uma coluna de troca catiônica, com resina AG 50W-X8; na segunda, a separação fina de Sm e Nd é efetuada em outra coluna, mediante utilização de pó de teflon revestido com ácido ortofosfórico.

3 - Após concentração, Sm e Nd são depositados sobre filamentos ultra-limpos. Normalmente, Nd é dissolvido com HNO_3 , e depositado sobre filamento simples de Re, na forma de $(\text{NdO})^+$. Para análises de Nd na forma metálica, a amostra é dissolvida com HC_1 (0,1N) e depositada sobre um dos lados do filamento triplo (Ta-Re-Ta). Sm é dissolvido com H_3PO_4 , e depositado sobre filamento simples de Ta, e analisado na forma metálica.

4 - Em alguns casos, a deposição da amostra de Nd é feita com H_3PO_4 e sílica gel em monofilamentos de Re, quando as medidas isotópicas são efetuadas na forma de $(\text{NdO})^+$ em multicoletores.

5 - As razões isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, bem como as demais razões isotópicas de Sm e de Nd para os cálculos das concentrações de cada elemento, por diluição isotópica, são obtidas através de espectrômetro de massa multicoletor, tipo VG-354. As razões isotópicas de Nd foram normalizadas com $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$.

EQUAÇÃO ISOCRÔNICA

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{hoje}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{inicial}} + \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{hoje}} \times (e^{\lambda t} - 1)$$

Figura 2 - Equação geral isocrônica.

O método Sm/Nd tem como premissa o aumento da razão radiogênica $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ em função do tempo devido ao decaimento do ^{147}Sm . Os resultados obtidos a partir dos cálculos são plotados em um diagrama binário de T (tempo) versus a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ou ϵ_{Nd} .

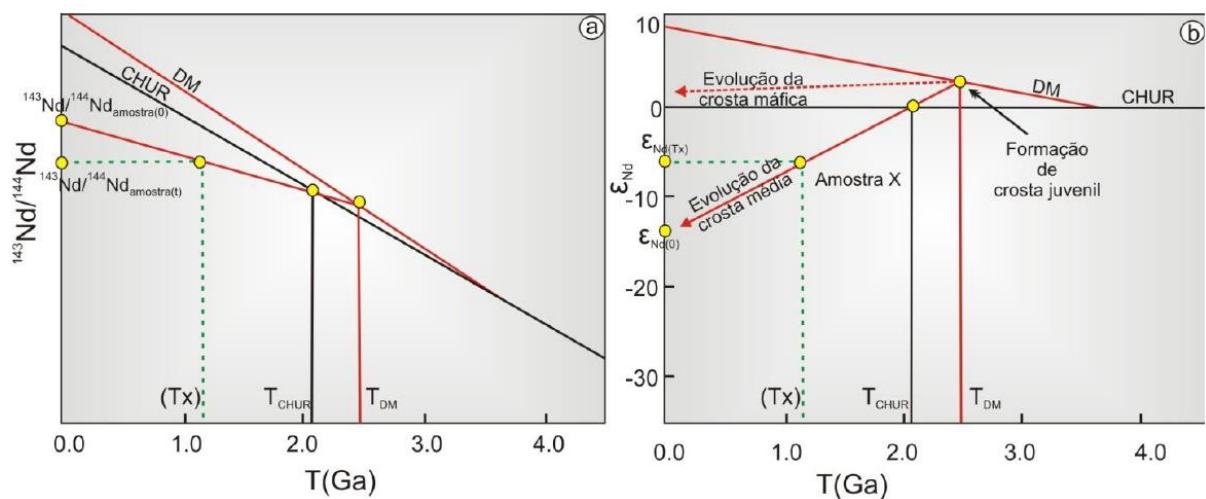


Figura 3 - a) Representação gráfica da evolução isotópica do Nd versus T (tempo). b) Representação gráfica do sistema Sm-Nd e os parâmetros de idade modelo TDM, TCHUR e ϵ_{Nd} (modificado de DePaolo, 1988).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Esse capítulo visa exemplificar de forma sucinta a geologia que abrange a área onde está localizado o alvo de estudo desse trabalho, através de compilação de dados publicados anteriormente, com o intuito de contribuir para o conhecimento sobre o tema abordado.

O Estado de Sergipe localiza-se na região nordeste do Brasil, envolve uma superfície com cerca de 22.000 km². Fazendo parte de três províncias estruturais definidas por Almeida *et al.* (1977) como a Província São Francisco, Província Borborema, Província Costeira e a Margem Continental.

A Província São Francisco corresponde em dimensão e limites ao Cráton do São Francisco Almeida *et al.* (1977). Agrega um embasamento de idades arqueanas a paleoproterozóica. Seus limites são marcados por faixas de dobramentos estruturadas durante o Ciclo Brasileiro. Esta província é representada pelos terrenos gnáissico-migmatíticos, pertencentes ao embasamento do Cráton do São Francisco.

A Província Borborema foi inicialmente classificada por Almeida *et al.* (1977) como uma entidade geotectônica de idade brasileira delimitada pelos Crátons São Francisco e São Luís.

A Província Costeira e a Margem Continental são constituídas pelas bacias sedimentares costeiras mesoceno-zóica. Os terrenos sedimentares são formados pela Bacia de Sergipe, Formações Superficiais Terciárias e Quaternárias, além de pequenas porções da Bacia do Tucano a oeste na divisa com o estado da Bahia.

3.1 O Cráton São Francisco (CSF)

O Cráton São Francisco (CSF) se estende entre os estados de Minas Gerais, Bahia (onde é contida sua maior porção), Sergipe, Distrito Federal e Goiás, sendo estes três últimos com volumes em menor expressividade. É

composto quase que exclusivamente por litologias de médio a alto grau metamórfico que datam desde o paleoarqueano até o cenozoico Almeida (1977); Barbosa & Sabaté (2002).

Os limites do CSF foram determinados por Almeida *et al.* (1977) e marcam as faixas orogênicas brasileiras: Araçuaí ao sudeste, Brasília a oeste, Rio Preto a noroeste, Riacho do Pontal na porção norte e Sergipana mais a nordeste (Figura 4). O embasamento do Cráton São Francisco é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto grau (gnaisses, granitoides e granulitos) de idade arqueana, associações do tipo granito *greenstone* e cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas, assim como rochas plutônicas com grande variedade composicional, expostos no extremo sul do Cráton (Cinturão Mineiro) e na porção nordeste, no estado da Bahia Teixeira *et al.* (2000).

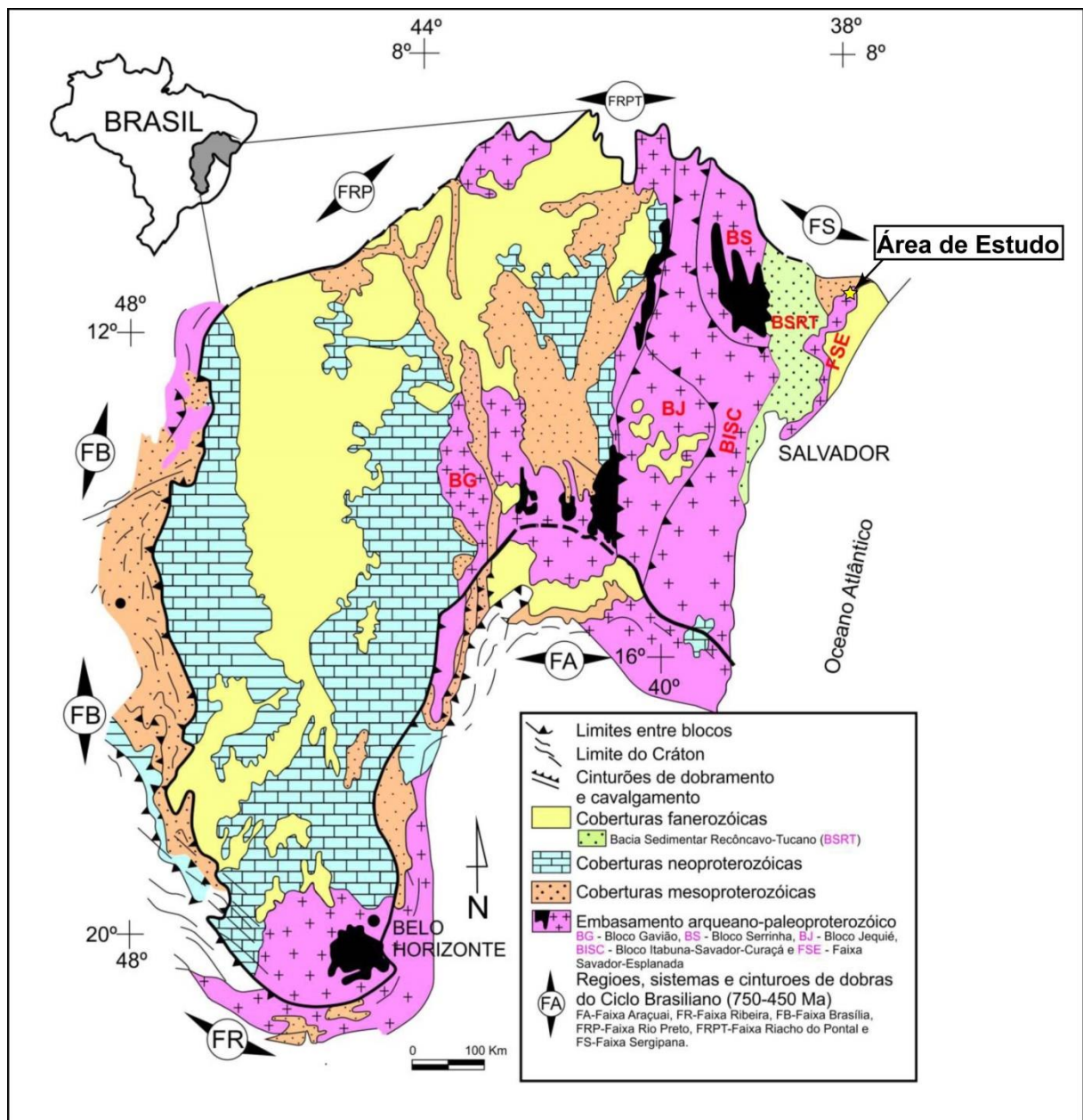


Figura 4 - Mapa esquemático da geologia do Cráton do São Francisco mostrando seus limites e a distribuição das principais unidades litoestratigráficas. (Modificado de Alkmim *et al.* 1993).

Os trabalhos de Barbosa & Sabaté (2002; 2003; 2004) realizados no Cráton do São Francisco, em território baiano, separaram os terrenos arqueanos e paleoproterozóicos que se estendem na direção norte-sul em quatro segmentos crustais, denominados de Blocos Gavião (BG), Serrinha (BS), Jequié (BJ) e o cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (CISC) (Figura 5).

O Bloco Gavião é representado por litotipos arqueanos do tipo TTG's com idade U-Pb SHIRIMP compreendidas entre 3,4 e 3,2 Ga (Barbosa & Sabaté,

2004). Estas rochas estão equilibradas na fácies anfibolito e as sequências supracrustais estão metamorfasadas na fácies xisto-verde (Marinho, 1991). Na porção norte, esse bloco encontra-se parcialmente coberto por rochas sedimentares dos Supergrupos Espinhaço e São Francisco. Possui importantes depósitos minerais, a exemplo o quadrilátero ferrífero na porção mineira do bloco.

Já o Bloco Serrinha é constituído essencialmente por ortognaisses migmatizados, rochas supracrustais vulcano-sedimentares e tonalitos arqueanos com idades entre 3,1 e 2,8 Ga (Rios, 2002). Estas rochas foram equilibradas na fácies anfibolito e serviram de embasamento aos greenstones belts paleoproterozoicos do Rio Itapicuru e do Rio Capim, cuja consolidação se deu ao final do ciclo Transamazônico, em cerca de 2,0 Ga (Alkmin, 2004).

Entretanto o Bloco Jequié é composto por rochas metamórficas diversas, como os granulitos heterogêneos com migmatitos e rochas supracrustais, além de suítes enderbíticas e charnokíticas de idade 2,7 a 2,8 Ga Cordani (1973). Essas rochas serviram de embasamento para os sedimentos e rochas vulcânicas básicas que preencheram os rifts sobre ele instalados, e sofreram intensa deformação e metamorfismo nas condições de fácies granulito em 2,1 Ga (Alkmin, 2004).

O Bloco Itabuna-Salvador-Curaçá, que é composto predominantemente por tonalitos, trondhjemitos e metassedimentos, é interpretado como um arco magmático desenvolvido na virada do Neoarqueano para o Paleoproterozóico (~2,6 Ga). Estão também presentes no cinturão rochas shoshoníticas de 2,4 Ga, além de tonalitos e trondhjemitos sin-colisionais de 2,1 Ga (Alkmin, 2004). Todos os componentes deste bloco foram reequilibrados em fácies granulito, em detrimento dos processos ocorridos na convergência paleoproterozóica.

O Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá percorre desde a cidade de Itabuna localizada no sul do Orógeno, até a cidade de Curaçá ao norte. Originado por volta de 2,0 Ga, a partir de uma convergência de massas continentais representadas pelos blocos do Gavião e do Gabão, este último hoje parte do Cráton do Congo, juntamente com os Blocos Serrinha, Jequié e Itabuna-Salvador-Curaçá. Essa colisão ocorreu no sentido NW-SE, identificado pela

presença de falhas de empurrão e zonas transcorrentes tardias Alkmin (2004); Barbosa & Sabaté (2001). Em sua parte norte, é dividido em dois segmentos: (i) um abrangendo termos mais a oeste, que foi denominado de Cinturão Móvel Salvador-Curaçá de acordo com Santos & Souza (1983); (ii) outro abrangendo porções mais a leste e definido por Barbosa & Dominguez (1996), como Faixa Salvador-Esplanada (FSE).

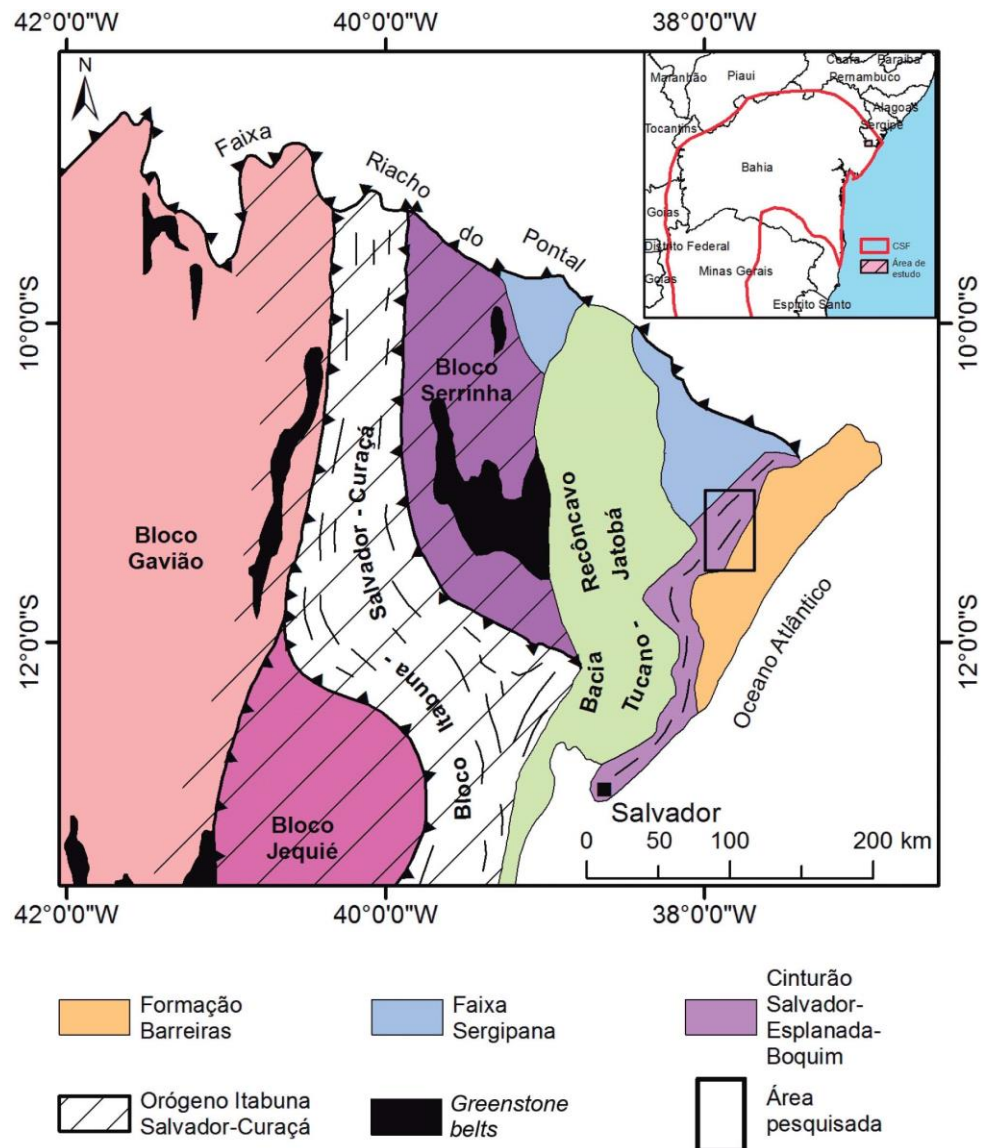


Figura 5 - Mapa esquemático regional posicionando a área pesquisada em relação às principais unidades tectônicas do Cráton do São Francisco na Bahia (simplificado de Barbosa e Sabaté, 2002).

No estado de Sergipe a parte expressiva do Cráton São Francisco apresenta rochas metamórficas de alto e médio grau, de idade

paleoproterozóica, representada pelos terrenos gnáissicos-migmatíticos e granulíticos da região de Riachão do Dantas, Boquim, Itabaianinha e Cristinápolis e uma cobertura formada pelos sedimentos pouco deformados da região de Lagarto, Palmares e Tobias Barreto (Santos *et al.* 1998).

3.1.1 Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB)

O cinturão Salvador-Esplanada-Boquim se estende por dois estados, Bahia e Sergipe, mais especificadamente entre as cidades de Salvador (BA), passando por Esplanada localizada também em território baiano, até Boquim (SE), apresentando orientação geral de 45°. Em Sergipe o embasamento comporta os Complexos Gnáissico-Migmatítico e Granulítico onde é possível observar biotita gnaisses migmatíticos deformados com enclaves de anfibolitos, granitoides aluminosos e alcalinos, ortognaisses migmatíticos granodioríticos metatexíticos bandados a diatexíticos nebulíticos, biotita ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, além de augen gnaisses graníticos, assim como corpos gábricos e diques máficos Oliveira Júnior (1990).

O CSEB, se tratando de unidades metamórficas maiores, é composta por três faixas, sendo a primeira a faixa mais ocidental, reequilibrada na fácies anfibolito, que é constituída pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico Aporá-Itamira e pela Suíte Granitoide Teotônio-Pela Porco, que se unem, ao norte, numa única unidade, formando o Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR). Já a segunda faixa, mais no sentido oriental, é constituída por migmatitos e gnaisses granulíticos, que reúnem litologias que variam da fácies anfibolito a granulito. A terceira é a faixa central do cinturão, que é constituída em sua maior parte por granulitos (Oliveira, 2014).

Este segmento central do cinturão está representado por rochas metamórficas de alto grau, contendo gnaisses charnoquíticos, charnoenderbíticos a enderbíticos migmatizados, além de eventuais granitoides. Subordinadamente encontram-se enclaves básicos, níveis de kinzingitos, lentes de quartzitos e diques fissurais ácidos a intermediários Oliveira (2014). Em sua

porção nordeste, o Cinturão Salvador-Esplanada encontra-se sobreposto por depósitos da Formação Barreiras e na parte sudoeste pelas rochas sedimentares da Bacia do Recôncavo-Tucano (Alves, 2013).

Além disso, no CSEB foram identificados ao menos dois eventos deformacionais atribuídos ao Ciclo Transamazônico. Um tangencial em condições de metamorfismo granulítico, e o segundo, de cinemática transcorrente sinistral, que ocasionou o retrometamorfismo às fácies anfibolito até xisto-verde Santos *et al.* (1998).

Além da subdivisão de Oliveira (2014), adotada neste trabalho, pode ser encontrada ainda a subdivisão adotada por Santos *et al.* (1998) no desenvolvimento do mapa geológico de Sergipe. Esses autores reconheceram e descreveram três unidades, associadas ao CGRIR (APg1, APg3 e APg4) além disso, o complexo denominado por Oliveira (2014) de Complexo Granulítico Esplanada – Boquim (CGEB) foi denominado por Santos *et al.* (1998) de Complexo Granulítico (APgl).

3.1.1.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real - Itabaianinha – Riachão do Dantas (CGMRIR)

O Complexo Gnáissico-Migmatítico Rio Real-Itabaianinha-Riachão do Dantas (CGMRIR) engloba uma faixa de rochas cristalinas que ocorrem entre os municípios de Rio Real (BA), Tomar do Geru (SE), Itabaianinha (SE) e Riachão do Dantas (SE), limitada a leste pela cunha do Complexo Granulítico Esplanada Boquim e a oeste pelos sedimentos da Formação Palmares (Santos *et al.* 1998; Oliveira, 2014). Descrevem também, a ocorrência de biotita ortognaisses de composição granodiorítica-granítica, por vezes tonalíticas. Oliveira (2014) comenta que na porção mais setentrional prevalece a composição granítica concordando com termos mais homogêneos e também descreve a observação de fenocristais de feldspato deformados e estirados com desenvolvimento de textura augen. Já Santos *et al.* (1998) descrevem que é frequente encontrar evidências de processos de migmatização em diversos estágios de fusão parcial sendo observados desde metatexitos bandados até diatexitos possuindo

estruturas tipo schlieren e nebulítica. Oliveira (2014) ainda acrescenta que estes evoluem e tornam-se massas de granitoides de anatexia com dimensões variadas, citando ainda que em escala microscópica o processo de fusão parcial fica evidenciado pela ocorrência de microclina intersticial, fracamente pertítica.

As idades U-Pb em zircões, efetuadas por Oliveira (2014) indicaram idades de cristalização entre 2.151 Ma e 2.179 Ma para os mesossomas e de 2.073 ± 6 Ma para os leucossomas. Esta última idade é interpretada como sendo a idade do pico metamórfico dessas rochas (Oliveira, 2014).

3.1.1.2 Complexo Granulítico Esplanada – Boquim (CGEB)

Inserido no Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB), o Complexo Granulítico Esplanada-Boquim (CGEB) ocupa uma área em forma de cunha que se alarga em direção norte, com início no município de Esplanada (BA) até a região norte da cidade de Boquim (SE), onde os contatos laterais entre essas unidades são delimitados por extensas falhas e/ou zonas de cisalhamento. No sentido norte, nas proximidades da cidade de Lagarto (SE), o limite também é tectônico, com as formações metassedimentares do Grupo Estância, pertencente à Faixa de Dobramentos Sergipana (Oliveira, 2014).

O CGEB representa uma sequência bimodal ácido-básica reequilibrada na fácies granulito, no qual se concentram as rochas dos tipos ortognaisses enderbíticos, charnoenderbíticos e charnockíticos, gabronoritos foliados, granulitos alumino-magnesianos (kinzingitos), níveis de quartzitos e dacítos/riolitos porfiríticos, esses em forma de diques (Oliveira, 2014). Conforme Santos *et al.* (1998), o CGEB apresenta-se com foliação com direção preferencial N-S, enquanto que na região onde é registrada ocorrência dos Diques de Arauá, a direção para essas rochas apresenta-se reorientada no sentido WNW-ESE. Em Oliveira (2014) é usada uma subdivisão para os granulitos ácidos e intermediários, definidas como: (i) granulitos enderbíticos (Ed2); (ii) granulitos monzo-charnockíticos (MCh); (iii) granulitos enderbíticos (Ed1) e (iv) granulitos charnoenderbíticos (Ch-Ed) (Figura 6).

Dados geocronológicos indicaram idades que sugerem a presença de cinco eventos termo e/ou tectônicos ocorridos na área que abrange o CGEB: (i) extração do magma do protólito do granulito Ed2 em 2,90 Ga (idade modelo TDM-Nd); (ii) cristalização do granulito Ed2 em 2582 ± 11 Ma. (iii) cristalização dos gnaisses migmatíticos (CGMRIR) ac. 2179 ± 06 Ma; (iv) metamorfismo regional atingindo rochas do CGEB e do CGMRIR entre 2087 Ma e 2073 Ma; e (v) preenchimento de fissuras em forma de enxame de diques ac. 2015 ± 12 Ma (Oliveira, 2014).

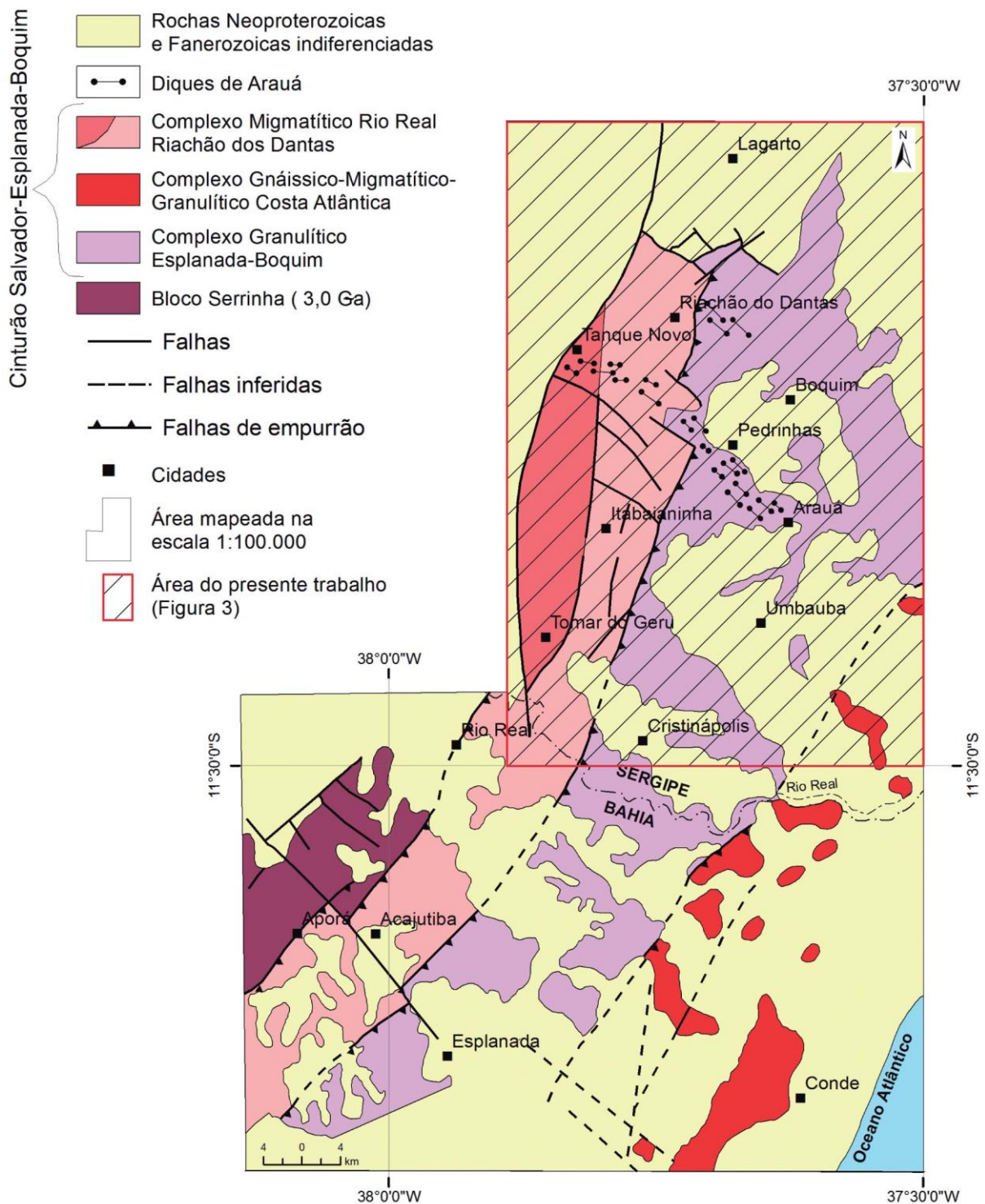


Figura 6 - Mapa geológico simplificado de parte do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (extraído de Oliveira, 2014).

3.1.1.3 Diques Arauá

Os Diques Arauá (DA) compreendem um enxame de diques paralelos com cerca de 53 km de extensão e direção geral N60°W que ocorrem na borda nordeste do Cráton do São Francisco. Encontram-se localizados entre a localidade de Tanque Novo e o município de Arauá. Os diques variam de riolitos, metariolitos e rochas intermediárias (andesito-monzodiorito e microgabro) (Soares, 2015; Liz *et al.* 2016; Liz *et al.* 2017; Santos, 2018).

A referida unidade foi inicialmente denominada de Vulcanismo Arauá por Silva Filho *et al.* (1977). De acordo com esse autor, o enxame de diques possui cerca de 50 km de extensão, com espessuras variáveis desde 10 cm até mais de 50 m e apresenta idade Rb-Sr de 1.823 ± 333 Ma, inserindo assim o vulcanismo Arauá no final Paleoproterozóico.

Brito Neves *et al.* (1995) sugeriu que as rochas com idade de 1877 ± 51 Ma, obtidas nesses enxames de diques, possam ser representantes do registro da Tafrogênese Estateriana na porção nordeste do Cráton São Francisco.

Posteriormente, Santos *et al.* (1998) descreveu o enxame de diques Arauá, como sendo na sua maioria diques riolíticos, dacíticos e subordinadamente basalto/diabásio.

Estudos isotópicos Sm-Nd e U-Pb realizados por Del' Rey Silva (2005), em cinco amostras dos diques Arauá, indicou a idade de cristalização de 1.990 ± 27 Ma para um dique riolítico, pelo método U-Pb, e idades modelos TDM entre 2,69 Ga e 3,17 Ga.

Estudos geoquímicos realizados por Fontes (2011) e Passos (2012), sugeriram a ocorrência de traquitos e andesitos. Conforme Fontes (2011), as rochas traquíticas do enxame de diques Arauá possuem uma afinidade com suítes alcalinas e anorogênicas. Passos (2012) sugeriu que os diques andesíticos possuem uma relação com fontes relacionadas a arcos vulcânicos.

Oliveira (2014) obteve a idade de cristalização 2015 ± 12 Ma em uma amostra do dique riolítico, através do método U-Pb em zircão.

Estudos recentes realizados por Soares (2015), Liz *et al.* (2016), Liz *et al.* (2017) e Santos (2018) envolvendo mapeamento, petrografia e geoquímica dividiram os Diques Arauá em três tipos principais de diques: riolíticos, metariolíticos e intermediários. Os diques metariolíticos são rochas altamente fracionadas de afinidade cálcio-alcalina alto potássio metamorfisadas na fácies xisto verde, os diques riolíticos são rochas ácidas com características compatíveis com magmatismo tipo-A, enquanto que os diques andesíticos são rochas de afinidade cálcio alcalina médio potássio. Apesar das diferenças geoquímicas expressadas em afinidades e padrões ETR distintos, estas rochas apresentam assinaturas de elementos traços, marcadas por anomalias de Nb, Ta, Ti e Sr, que sugerem fontes relacionadas à subducção (Liz *et al.* 2017).

3.1.2 Outras Ocorrências de diques no Cráton São Francisco

Além da incidência dos Diques Arauá localizados na porção nordeste do CSF e sul do estado de Sergipe, onde são classificados como ácidos e intermediários, exemplificados no tópico acima, ocorreram também, manifestações de diques máficos que intrudiram as rochas Arqueanas e Paleoproterozóicas do Cráton do São Francisco (Girardi *et al.* 2017).

Esses diques possuem afinidade toleítica e norítica, e são classificados em ocorrência na (Figuras 7a e 8b) como: 1) Uauá; 2) Curaçá; 3) Chapada Diamantina-Paramirim (Sistema Espinhaço Norte); 4) Salvador Olivença; 5) Lavras (arqueano); 6) Lavras (Paleoproterozóico) 7) Paraopeba; 8) Pará de Minas; 9) Diamantina (Sistema Espinhaço Sul). Na região de Uauá ocorrem diques noríticos (2,73 Ga) e de diabásio (2,63 Ga) orientados segundo NW, com espessuras muito variáveis até 100m (Oliveira *et al.* 2014). Os diques máficos cortam a rocha encaixante em períodos distintos, que variam entre 2,7 e 0,9 Ga.

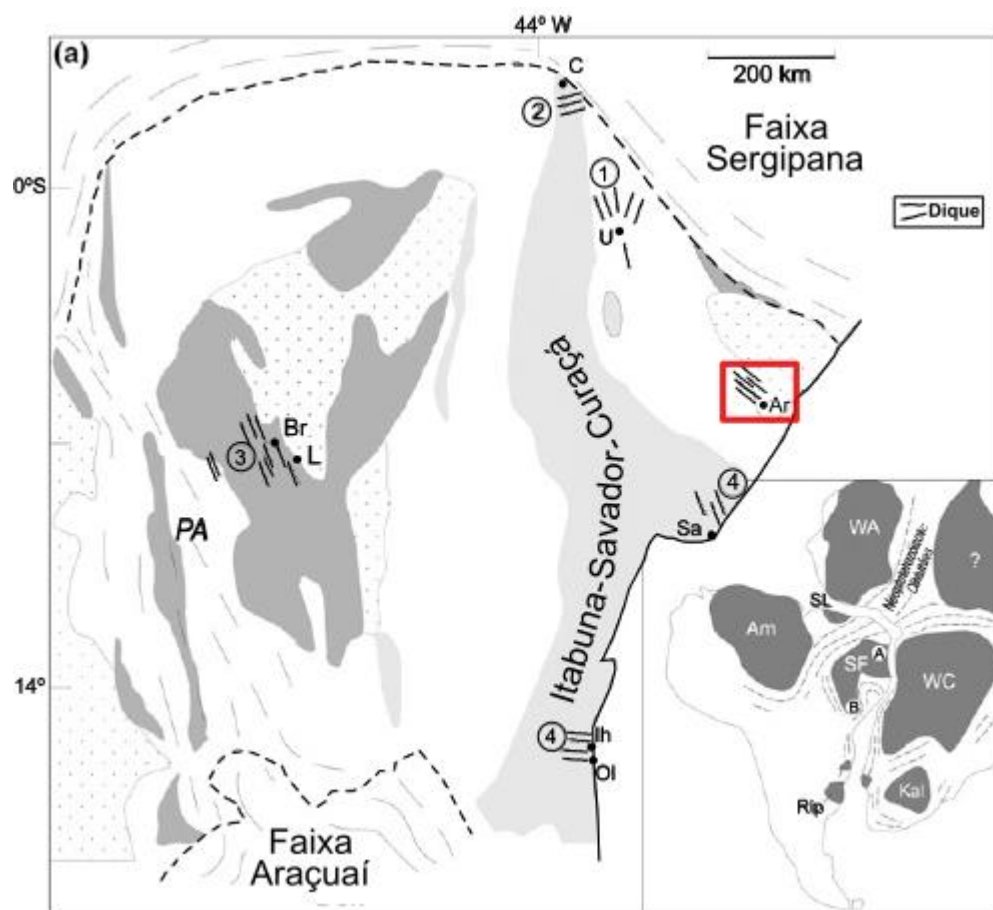


Figura 7 - Distribuição de enxames de diques pré-cambrianos na porção norte. (Modificado Girardi *et al.* 2017).

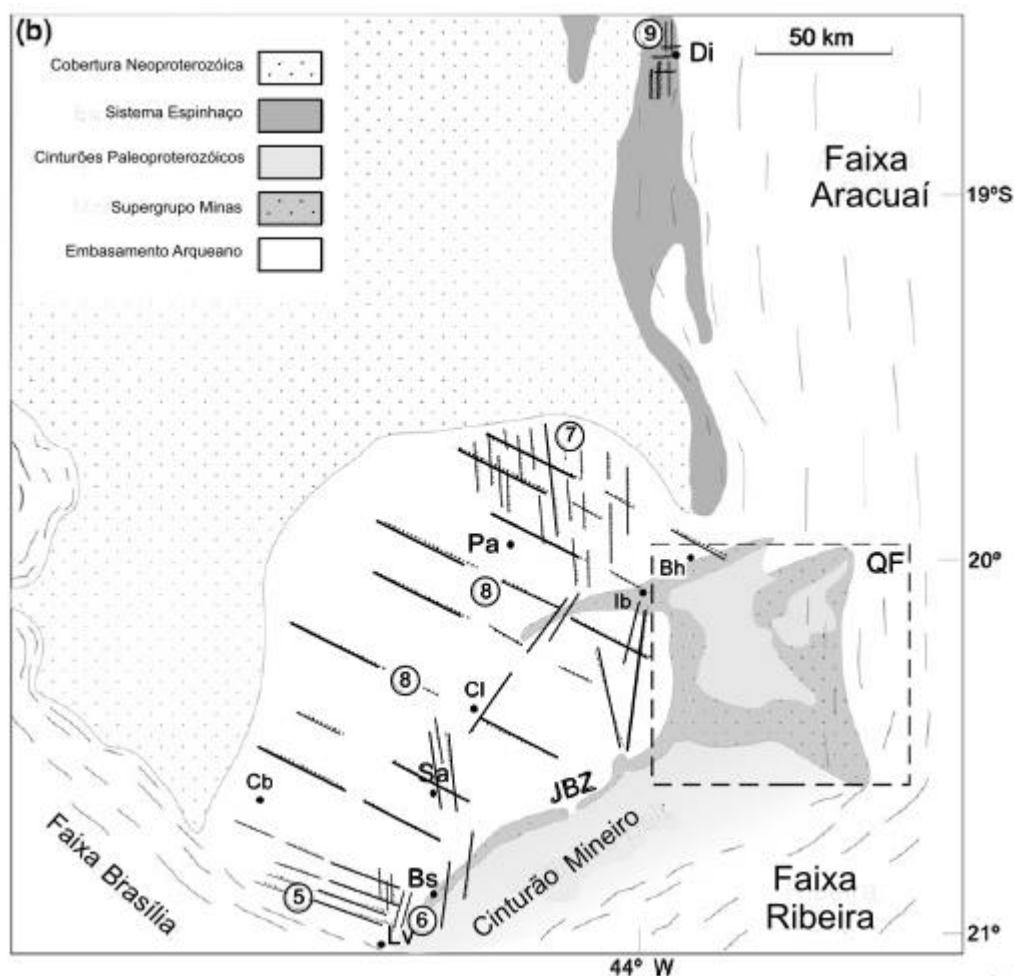


Figura 8 - Distribuição de enxames de diques pré-cambrianos na porção norte (a) e sul (b) do CSF, limitados por faixas neoproterozóicas, o aulacógenos Paramirim (PA), além da Zona de Cisalhamento Jaceaba-Bom sucesso (JBZ). Também são mostradas abreviações dos territórios: U (Uauá), C (Curaçá), L (Lençóis), Br (Brotas de Macaúbas), Lh (Ilhéus), Ol (Oliveira), Di (Diamantina), Pa (Pará de Minas), Bh (Belo Horizonte), Ib (Ibirité), Cl (Cláudio), As (Santo Antônio do Amparo), Cb (Campo Belo), Lv (Lavras), Bs (Bom Sucesso). Enxames de diques: 1) Uauá; 2) Curaçá; 3) Chapada Diamantina-Paramirim (Sistema Espinhaço Norte); 4) Salvador Oliveira; 5) Lavras (arqueano); 6) Lavras (Paleoproterozóico) 7) Paraopeba; 8) Pará de Minas; 9) Diamantina (Sistema Espinhaço Sul), e a área com retângulo vermelho Ar, representa os diques Arauá. Representação da estrutura tectônica do Gondwana, destacando os cinturões Neoproterozóicos e Crátons no canto direito inferior da figura a, sendo: SF (São Francisco), WC (Oeste do Congo), Kal (Kalahari), Rip (Rio da Prata), Am (Amazônia), WA (África Ocidental). (Modificado de Girardi *et al.* 2017). A área marcada pelo retângulo em vermelho exemplifica a ocorrência dos diques Arauá em relação aos demais no CSF.

3.1.3 Faixa de Dobramentos Sergipana

A Faixa de Dobramentos Sergipana constitui-se numa região orogênica neoproterozoica, formada durante o ciclo Brasileiro/Pan-Africano (~600-540 Ma), e que ocorre ao sul do Maciço Pernambuco-Alagoas, no limite nordeste do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977; Brito Neves *et al.*, 1995). Geograficamente, esta faixa abrange grande parte do Estado de Sergipe, além do norte da Bahia e sul de Alagoas. A FDS pode ser subdivida em seis domínios litotectônicos. De sul para norte, são denominados de Estância, Vaza-Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé (Silva Filho *et al.* 1977; Santos *et al.* 1998; Oliveira *et al.* 2014). Estes domínios apresentam características estruturais, metamórficas e litoestratigráficas distintivas, justapostos por tectônica compressiva convergente para sudoeste, relacionada ao ciclo Brasileiro, na forma de falhas e zonas de cisalhamento de médio a alto ângulo.

3.1.3.1 Domínio Estância (DE)

O Domínio Estância é o mais novo apresentado na Faixa de Dobramentos Sergipana (no estado de Sergipe), encontrado ao sudoeste do estado, em contato com o Cráton São Francisco à leste, com o estado da Bahia à sul e parte do Oeste, com a Bacia do Tucano à oeste. É composto por rochas metassedimentares com baixo grau de metamorfismo, subdivididas em três formações: Formação Acauã, Formação Lagarto e Formação Palmares (Santos *et al.* 1998).

A Formação Acauã está localizada em áreas restritas ao sudeste de Lagarto, estando acima do embasamento gnáissico, a qual foi gerada por uma discordância, além de fazer contato com os sedimentos sobrejacentes da formação Lagarto (Santos *et al.* 1998).

Já a Formação Lagarto é constituída por rochas sedimentares com alternância de arenitos finos, argilitos e siltitos laminados que preservam

estruturas indicativas de ambiente de planície de maré e de plataforma rasa, além de indicativos de paleocorrentes direcionais a norte (Santos *et al.* 1998).

Por fim, a Formação Palmares, faz contato tectônico com as rochas gnáissicas do embasamento e com os sedimentos da Bacia do Tucano, os quais são delimitados por falhas normais e rochas metassedimentares do Grupo Simão Dias e Vaza Barris, além de fazer contatos gradacionais com o restante das formações do Grupo Estância. Esta formação não possui uma grande variedade litológica, sendo constituída principalmente por grauvacas e arenitos finos feldspáticos muito litificados (Santos *et al.* 1998).

3.1.4 Formações Superficiais

Amplamente distribuído pela costa leste de Sergipe (figura 9), esses sedimentos estão relacionados às coberturas terciário-quaternárias que ocorrem cobrindo diversas unidades desde o embasamento. O Grupo Barreiras caracteriza-se por estar constituído por sedimentos terrígenos mal consolidados apresentando coloração variada e níveis de estratificações irregulares além de não haver registro de fosseis (Santos *et al.* 1998). O autor também comenta que esses depósitos são correlativos de duas fases de avanço e regresso do mar (pediplanação) que ocorreram durante o Cenozoico por toda faixa leste do Brasil.

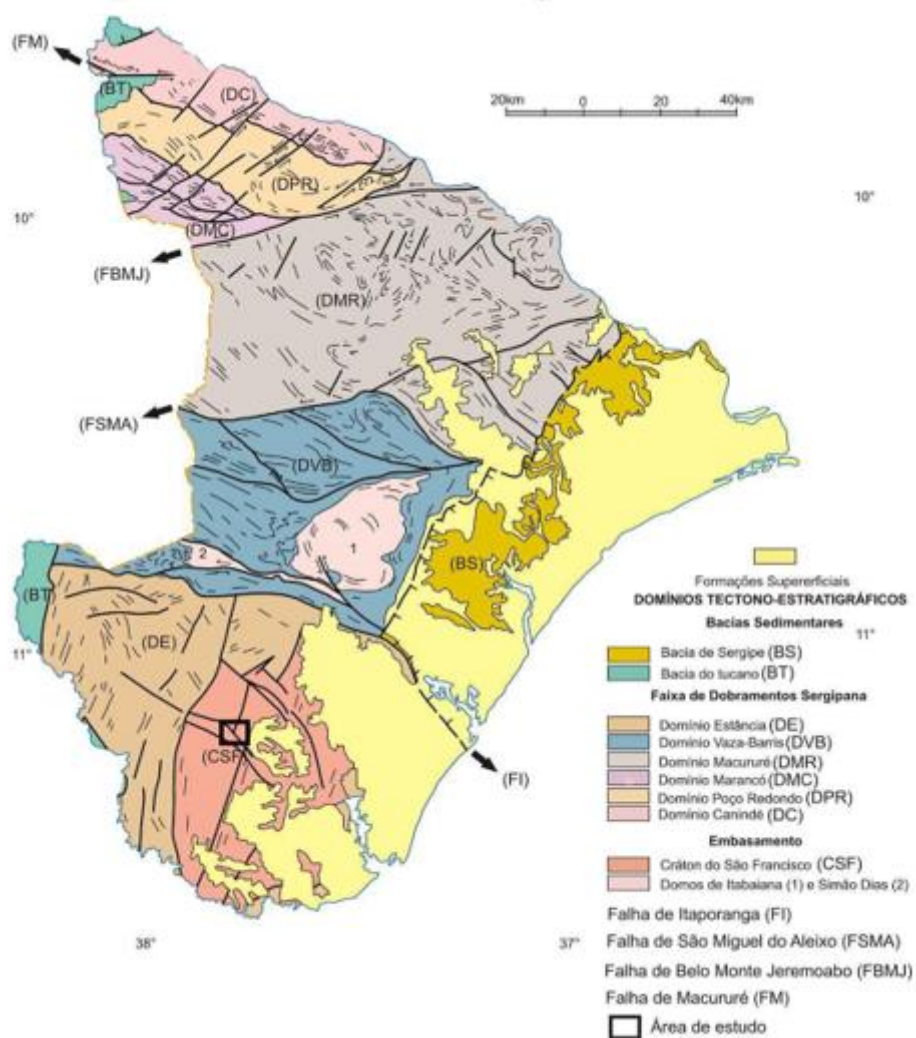


Figura 9 - Domínio tectônico-estratigráfico de Sergipe, modificado de Santos *et al.* (1998). Exemplificando todas as formações e destacando a área de estudo localizada ao Sul do estado de Sergipe.

4. GEOLOGIA LOCAL

A geologia local que será apresentada nesse capítulo é baseada nos dados obtidos em campo, somado a dados disponibilizados pelo orientador do trabalho.

A nomenclatura adotada para as rochas encaixantes dos diques, representadas pelo Complexo Gnáissico Migmatítico Rio Real – Itabaianinha – Riachão do Dantas (CGMRIR) e granulitos do Complexo Granulítico Esplanada – Boquim (CGEB), seguirá as apresentadas por Oliveira (2014).

Os Diques Arauá que afloram entre os municípios de Riachão do Dantas, Pedrinhas, Arauá e Boquim são segmentados em dois *trends*, um principal, que aflora na comunidade de Tanque Novo, sudoeste de Riachão do Dantas, e segue para sudeste em direção à cidade de Arauá, e outro, secundário, que aflora a noroeste de Riachão do Dantas e segue para sudeste em direção a Boquim (Figura 10). Nos dois *trends* os diques intrudem rochas orto e paragneissicas CGMRIR e granulitos do CGEB (Figura 10). Nestes, é possível observar que os diques ocorrem ao longo de fraturas e falhas extensionais com direção variando de N20-80W. Por vezes, observam-se falhas transcorrentes sinistrais (N10-20E) que deslocam lateralmente essas fraturas e localmente os diques.

O *trend* principal apresenta uma maior concentração de diques, quando comparado com o *trend* secundário, além de uma maior variação litológica. Neste, os diques intermediários (andesíticos e monzodioríticos) e riolíticos intrudem, principalmente, o CGEB próximo ao contato com o CGMRIR, onde cortam granulitos enderbíticos Ed2 e Ed1 e monzo-charnockíticos (MCh), com direções N20-40W. Na porção noroeste deste *trend* esses diques cortam o CGMRIR, e apresentam uma inflexão, adquirindo direções entre N60-80W. Os diques metariolíticos ocorrem somente neste *trend*, onde intrudem principalmente o CGMRIR, com localizados diques cortando os granulitos monzo-charnockíticos e enderbíticos Ed1.

No *trend* secundário, os diques são mais espaçados e compreendem somente diques riolíticos e intermediários. Neste, os diques cortam os granulitos

enderbíticos Ed2 e Ed1 e CGMRIR com direção N40W, flexionando no extremo noroeste para N70W.

Destaca-se no *trend* secundário a presença de um dique microgabroico, agrupado nos diques intermediários por Santos (2018), localizado na porção sudeste do *trend*, que representa a rocha menos diferenciada encontrada nos Diques Arauá.

Três amostras do *trend* principal foram usadas pra aquisição dos dados isotópicos, sendo um exemplar de um dique riolítico (CIV15003), um monzodiorítico (CV36) e um metariolítico (CVA15015) (Figura 10). Nos locais de amostragem foi possível observar que o dique intermediário (monzodiorito) intrude o granulito enderbítico Ed2, o dique riolítico intrude o granulito Monzo-Charnockítico e o dique metariolítico intrude o CGMRIR.

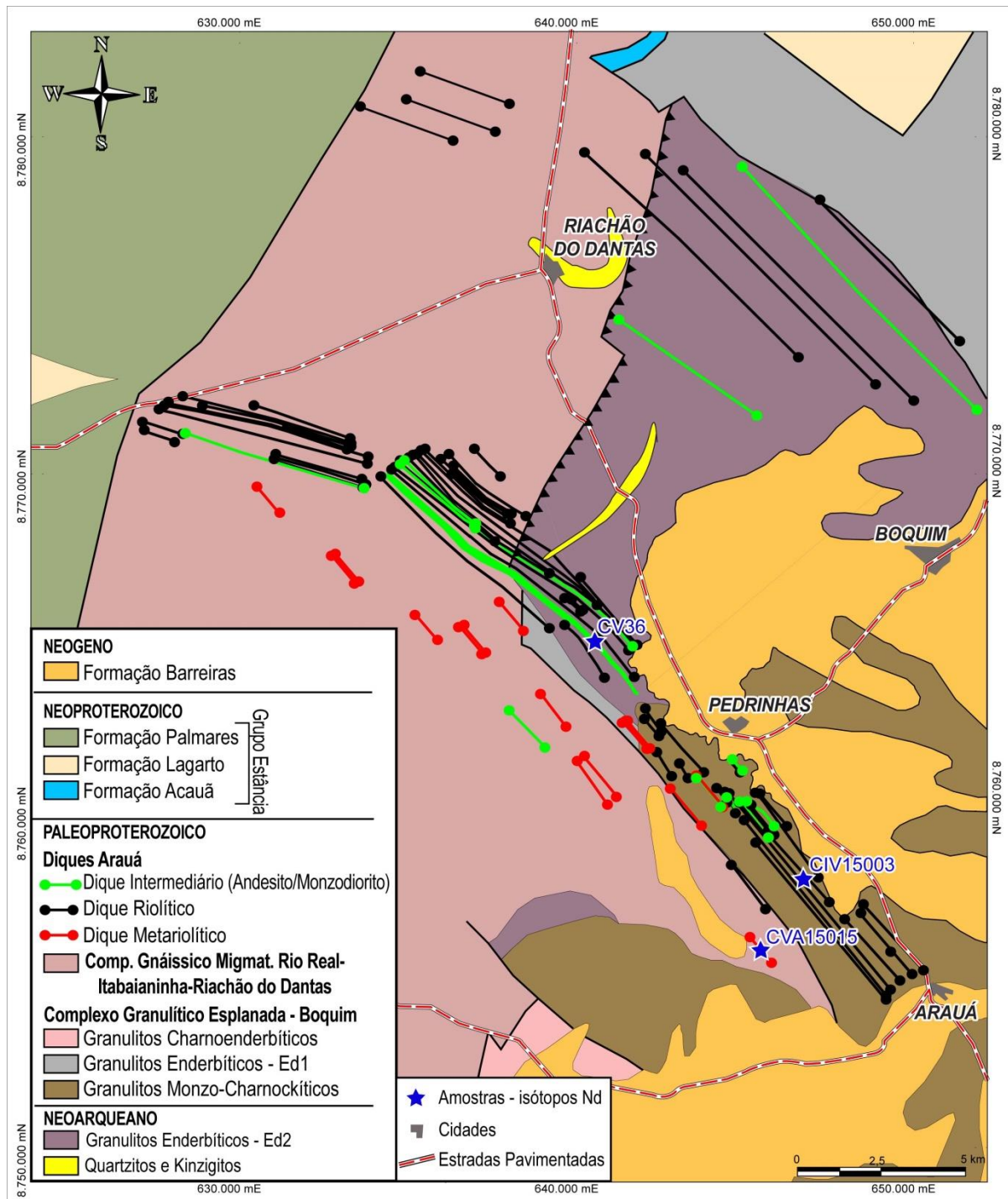


Figura 10 – Mapa com a geologia dos Diques Arauá destacando a localização das amostras utilizadas no estudo isotópico. Modificado de Oliveira (2014).

4.1 Diques Intermediários (Andesíticos/Monzodioríticos)

Os Diques Intermediários ocorrem intrudindo principalmente os granulitos do Complexo Granulítico Esplanada – Boquim (Ed2), com orientações que variam entre N80W e N40W, mergulho de alto ângulo e espessuras que variam de 1 a 35 m. Observa-se que estes diques geralmente estão posicionados próximos aos Diques Riolíticos, e, localmente, aproveitaram as estruturas destes para se posicionarem, formando, em alguns casos, falsos diques compostos.

Estes diques apresentam uma ampla variação textural, ocorrendo desde subvulcânicas (andesitos) até plutônicas (monzodioritos), o que possivelmente relacionado a velocidades diferentes de resfriamento do magma.

Os Diques Andesíticos apresentam cor cinza escuro, textura porfirítica, com fenocristais de plagioclásio, pirita disseminada e minerais máficos, imersos em uma matriz afanítica de cor grafite, que perfaz 80% da rocha (Figura 11). O plagioclásio apresenta-se predominantemente subédrico, com tamanhos que vão de 1 mm a 20 mm, com tamanho médio de 5 mm; apresenta *melt-inclusion*, saussuritização e corrosão nas bordas de alguns cristais. A pirita encontra-se anédrica a subédrica, com tamanho máximo de 1 mm. Os minerais máficos (biotita e anfibólio) possuem forma entre anédrica e subédrica, não atingindo mais do que 1 mm, além de ocorrerem alterados formando óxidos. Nesta rocha observa-se a presença de amígdalas, com dimensões inferiores a 1 mm.

O dique monzodiorítico (amostra CV36) apresenta orientação N40W e espessuras que variam de 80 m a 120 m, e intrude o Granulito Enderbítico Ed2, definido por Oliveira (2014). Nas bordas do corpo monzodiorítico observa-se xenólitos métricos do granulito encaixante, apresenta textura porfirítica demarcada por megacristais de plagioclásio (Figura 12), com subordinados megacristais de feldspato alcalino, envolvidos por uma matriz fanerítica média a grossa composta por plagioclásio, feldspato alcalino, acompanhado pelos varietais máficos: biotita, hornblenda e clinopiroxênio.



Figura 11 – Amostra de dique andesítico porfíritico com pórfiros de plagioclásio envolvidos por matriz afanítica.



Figura 12 – Detalhe de megacristal de plagioclásio do dique monzodiorítico (Amostra CV-36).

4.2 Diques Riolíuticos

Os Diques Riolíuticos são os que apresentam maior ocorrência na área de estudo, são intrusivos nos granulitos do Complexo Granulítico Esplanada – Boquim, e no CGRIR e possuem espessuras variando entre 2 m e 31 m, com orientações variando entre N80W e N40W e geralmente apresenta mergulho de alto ângulo.

Os diques riolíuticos são predominantemente porfiríticos, demarcados por fenocristais de feldspato alcalino, plagioclásio e quartzo, envolvidos por uma matriz afanítica a fanerítica muito fina (Figura 13).

Estas rochas, em contato com a encaixante, apresentam bordas resfriadas centimétricas marcadas por um aumento na quantidade de matriz (>65%) acompanhada por uma diminuição do tamanho dos pórfiros (Figura 14).

No geral, os diques riolíuticos possuem fenocristais com tendências a formar agregados alotriomórficos. O feldspato alcalino ocorre com dimensões variando de 0,1 cm a 2,5 cm, comumente anédrico a subédrico, com agrupamentos em uma trama glomeroporfirítica, com grãos evidenciando texturas de desequilíbrio tais com golfos de corrosão e localmente textura rapakivi. O plagioclásio ocorre com formas subédricas a anédricas e dimensões de 0,1 a 6 cm. O quartzo ocorre com dimensões de 0,1 cm a 0,5 cm, com forma bipiramidal de arestas arredondadas, que definem formas subédricas a anédricas. A morfologia bipiramidal do quartzo observado nos riolitos é consistente com quartzo- β formado em altas temperaturas.



Figura 13 – Detalhe de amostra de mão de Dique Riolítico - amostra CIV15003



Figura 14 – Imagem destacando borda resfriada de dique riolítico, onde é possível observar o aumento da quantidade dos pórfiros de K-feldspato e quartzo em direção ao centro do corpo.

4.3 Diques Metariolíticos

Os Diques Metariolíticos ocorrem principalmente, na porção sudeste da área, apresenta orientação N40W, com mergulho de alto ângulo, e espessuras variando de 6 m até 15 m. Estas rochas apresentam foliação discreta marcada pela orientação da biotita com direção N05E e mergulho de 50° para WNW. Esta estrutura é concordante com a foliação dos gnáisses encaixantes do CGMRIR. O metariolito, em observação macroscópica, possui coloração cinza escuro nas porções inalteradas, que passa para bege nas áreas intemperizadas.

Essa rocha ocorre, comumente, com fenocristais de quartzo, feldspato potássico e biotita com granulação muito fina (<1 mm) imersos em uma matriz afanítica (Figura 15).



Figura 15 – Imagem de amostra de Dique Metariolítico, amostra CVA15015.

5. PETROGRAFIA

Com o intuito de ilustrar a petrografia das diferentes rochas dos Diques Arauá, foram compilados os dados petrográficos obtidos por Soares (2015) e Santos (2018), dos diques riolíticos, intermediários (andesito e microgabroico) e metariolitos.

5.1 Diques Riolíticos

De acordo com Soares (2015) e Santos (2018), os diques riolíticos ocorrem com destacada textura porfirítica marcada por fenocristais de K-feldspato, plagioclásio, quartzo, hornblenda e biotita envolvidos por uma matriz microcristalina a muito fina quartzo-feldspática, que perfaz de 40% a 55% da rocha. Texturas de desequilíbrio compreendendo o arredondamento dos grãos, bordas de reação e golfos de corrosão são comuns nos fenocristais de K-feldspato (Figura 16 a e b), plagioclásio e quartzo. Em geral observa-se textura glomeroporfirítica marcada pelo agrupamento de fenocristais que assumem formas agregada desses cristais.

A mineralogia essencial desses diques compreende K-feldspato, plagioclásio e quartzo. A mineralogia varietal é composta por hornblenda e biotita, enquanto que os acessórios são representados por apatita, opacos e zircão.

Na lâmina do ponto CV42c (Fig. 17 a e b) foi possível observar a rocha andesítica dos diques intermediários cortando o riolito. Nesta é possível observar que o riolito já estava completamente cristalizado quando foi intrudido, enquanto que o andesito mostra feições de resfriamento marcado por uma textura microcristalina de coloração escura parcialmente cloritizada.

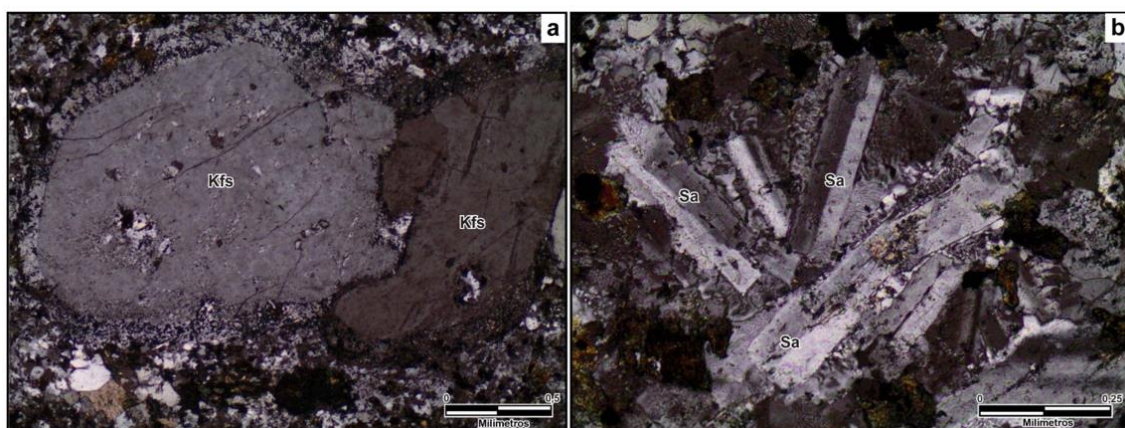


Figura 16 - Feições petrográficas dos diques de riolito. (a) agregado de fenocristais de K-feldspato (Kfs) com formas arredondadas e borda de reação com a matriz (luz polarizada); (b) textura glomeroporfírica definida por fenocristais de sanidina (Sa) (luz polarizada), (imagens extraídas de Soares 2015).

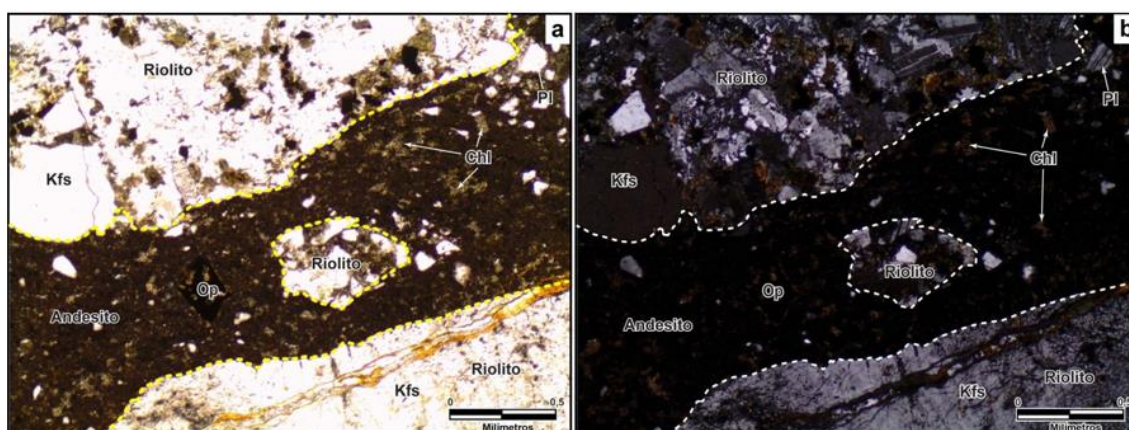


Figura 17 - Fotomicrografia destacando a feição intrusiva da rocha andesítica no riolito. A massa microcristalina escura do andesito sugere ter sofrido um resfriamento rápido em contato com o riolito, e injetou fraturando o riolito. (a) Luz natural; (b) Luz polarizada, (imagens extraídas de Soares, 2015).

5.2 Dique Intermediário - Andesítico

Segundo Santos (2018), as rochas dos diques andesíticos são compostas por fenocristais de plagioclásio e vesículas envolvidas por uma matriz hemicristalina rica em micrólitos e cristalitos de plagioclásio, além dos minerais opacos. As devitrificações presentes são evidenciadas por esferulitos radiais a semi-radiais, marcados por cristais aciculares de plagioclásio e opacos (Figura 18 a e b). Alterações hidrotermais são evidenciadas pela presença de epídoto substituindo parcialmente cristais de plagioclásio (Santos, 2018). Essas

evidências de alteração em geral também podem ser identificadas em descrições de amostra de mão.

5.3 Dique intermediário - Microgabróico

A dique microgabróico apresenta estrutura isotrópica de coloração cinza escura, com a granulometria muito fina e textura porfírica. Este é formado essencialmente por cristais de plagioclásio, clinopiroxênio, com localizados cristais de sanidina, minerais opacos e por vezes anfibólio (Santos, 2018). Nesta rocha destacam-se as texturas intersertal e intergranular, típicas de rochas hipoabissais (Figura 18c e d).

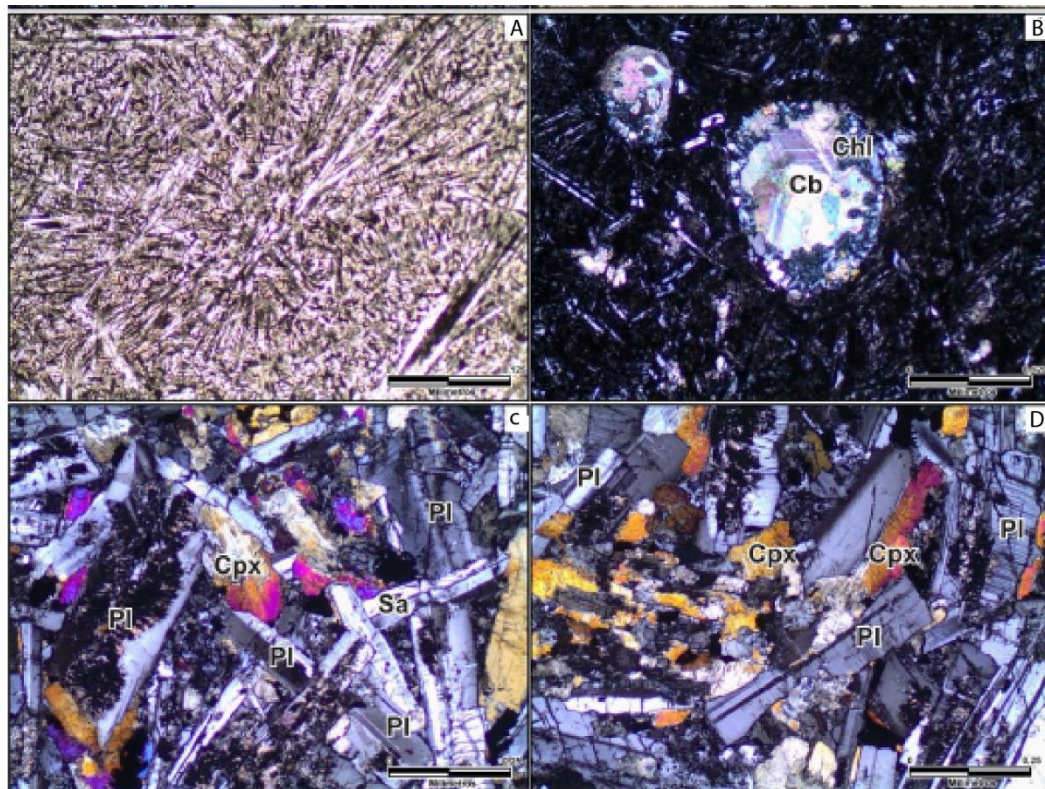


Figura 18 - Feições petrográficas dos diques estudados. Dique Andesítico (a) Detalhe da matriz evidenciando a devitrificação marcada por esferulitos radiais definidos por agulhas de minerais opacos e cristais de plagioclásio ripidiformes (luz natural), (b) Amígdalas preenchidas por calcita (Cb) envolvidas por clorita (Chl) imersas em matriz hemicristalina (luz polarizada); Dique Microgabróico: (C) Visão geral da rocha, destacando a textura intergranular definida por cristais de plagioclásio (Pl), clinopiroxênio (Cpx), sanidina (As) e minerais opacos (Op) (luz polarizada); (d) Visão geral destacando os intercrescimentos de clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl) (luz polarizada), (Santos, 2018), (imagens extraídas de Santos, 2018).

5.4 Diques Metariolíticos

O metariolito apresenta textura porfírica marcada por fenocristais de feldspato alcalino, quartzo e biotita, com subordinado plagioclásio, envolvidos por uma matriz quatzo-feldspática. A maior parte dos fenocristais e da matriz apresentam feições de deformação dos cristais (Figura 19), tais como extinção ondulante, subcristais e recristalização por rotação de subcristais, que sugerem que estas foram submetidas a altas tensões diferenciais (Soares, 2015).

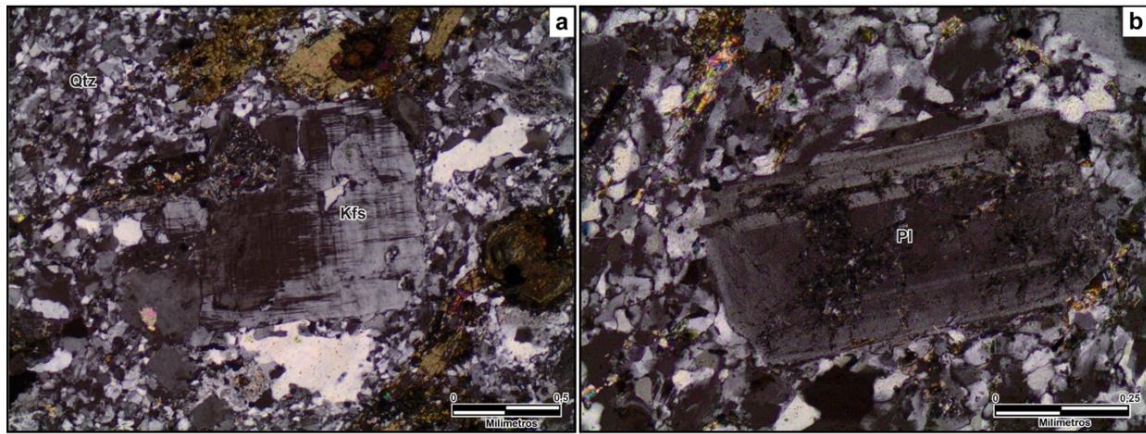


Figura 19 - Feições petrográficas e microestruturais do dique de metariolito (Luz Polarizada). (a) cristal de K-feldspato (Kfs) mostrando à dupla macla distribuída heterogeneamente no cristal e pertita em chama; (b) fenocristal de plagioclásio (Pl) zonado com seritização, (imagens extraídas de Soares, 2015).

6. LITOQUÍMICA

Este estudo foi efetuado com base em 16 dados geoquímicos dos Diques Arauá, divididos em 10 amostras do *trend* principal, extraídas de Soares (2015), e 6 amostras do *trend* secundário obtidas de Santos (2018). Estes dados compreendem 4 amostras dos Diques Intermediários (2 andesitos, 1 monzodiorito e 1 micrograbro), 3 amostras dos Diques Metariolíticos e 9 amostras dos Diques Riolíticos.

6.1 Classificação dos diques

Na classificação das rochas dos diques foi utilizado o diagrama TAS (Le Bas *et al.* 1986), que se baseia na quantidade de K_2O+Na_2O versus SiO_2 . Neste diagrama as rochas dos diques ocuparam os campos de andesito basáltico, andesito, dacito e riolito (Figura 20).

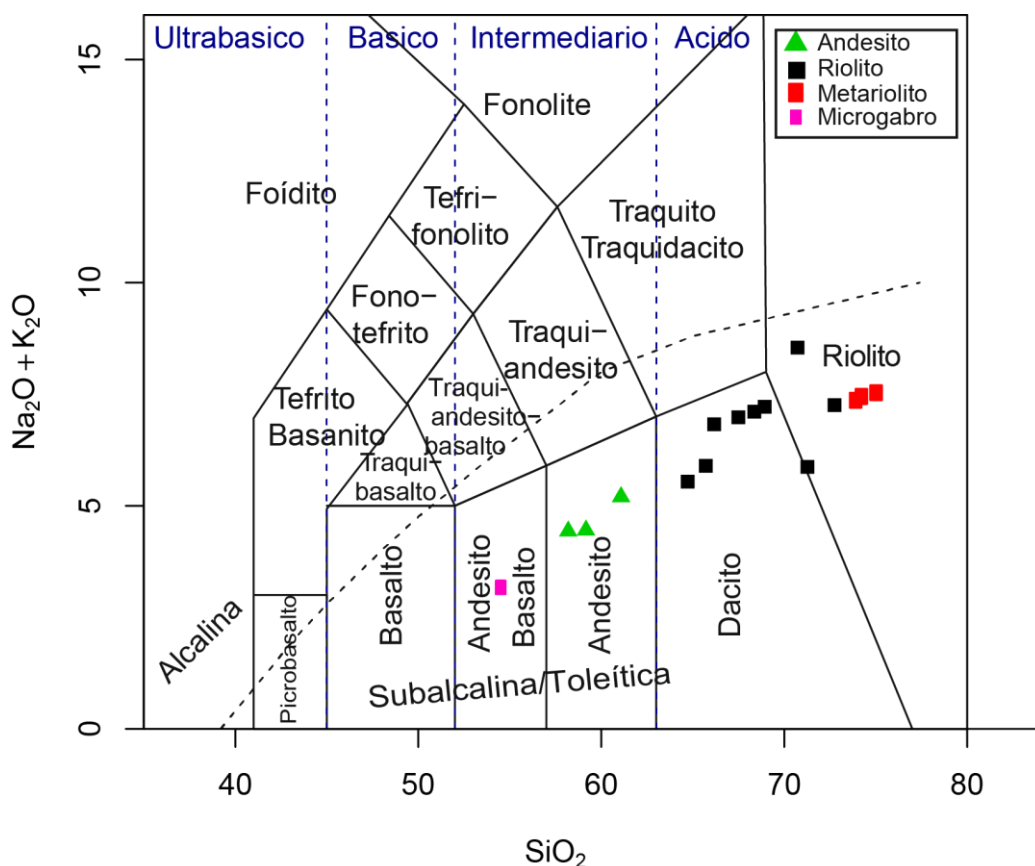


Figura 20 - Diagrama de classificação química TAS (Le Bas *et al.* 1986).

6.2 Elementos maiores

As rochas estudadas dos Diques de Arauá apresentam teores de SiO_2 com variação entre 53,98% e 77,63%. As amostras dos diques intermediários variam de 53,98 % a 60,48% de SiO_2 , nos diques riolíticos esses teores variam de 62,97% a 73,29%, enquanto que nos diques metariolíticos variam de 73,28% a 77,63%.

No seu conjunto, os diagramas de Harker (Figura 21) demonstram uma tendência de queda dos percentuais de CaO , MgO , MnO , Fe_2O_3 e TiO_2 em relação a SiO_2 . Isso ocorre comumente em sistemas evoluídos a partir de cristalização fracionada, envolvendo, principalmente, o fracionamento de minerais máficos. O Na_2O apresenta queda de percentual para a maioria dos diques, exceto para diques metariolíticos que mostram um aumento em relação a SiO_2 .

O processo de diferenciação demonstra um aumento dos teores de K_2O , que é um comportamento comum para rochas com evolução por cristalização fracionada. O Al_2O_3 mostra um padrão disperso, porém observa-se uma leve tendência ao decréscimo dos teores com a diferenciação nos diques riolíticos, e um leve enriquecimento nos diques metariolíticos. A oscilação do fracionamento de plagioclásio contribui para esse aspecto variante na distribuição de Al. O padrão apresentado pelo P_2O_5 nas rochas mostra uma tendência de enriquecimento nos diques intermediários, e um empobrecimento nos metariolitos, enquanto que nos diques riolíticos apresenta um padrão inicial de enriquecimento, que se direciona para o empobrecimento.

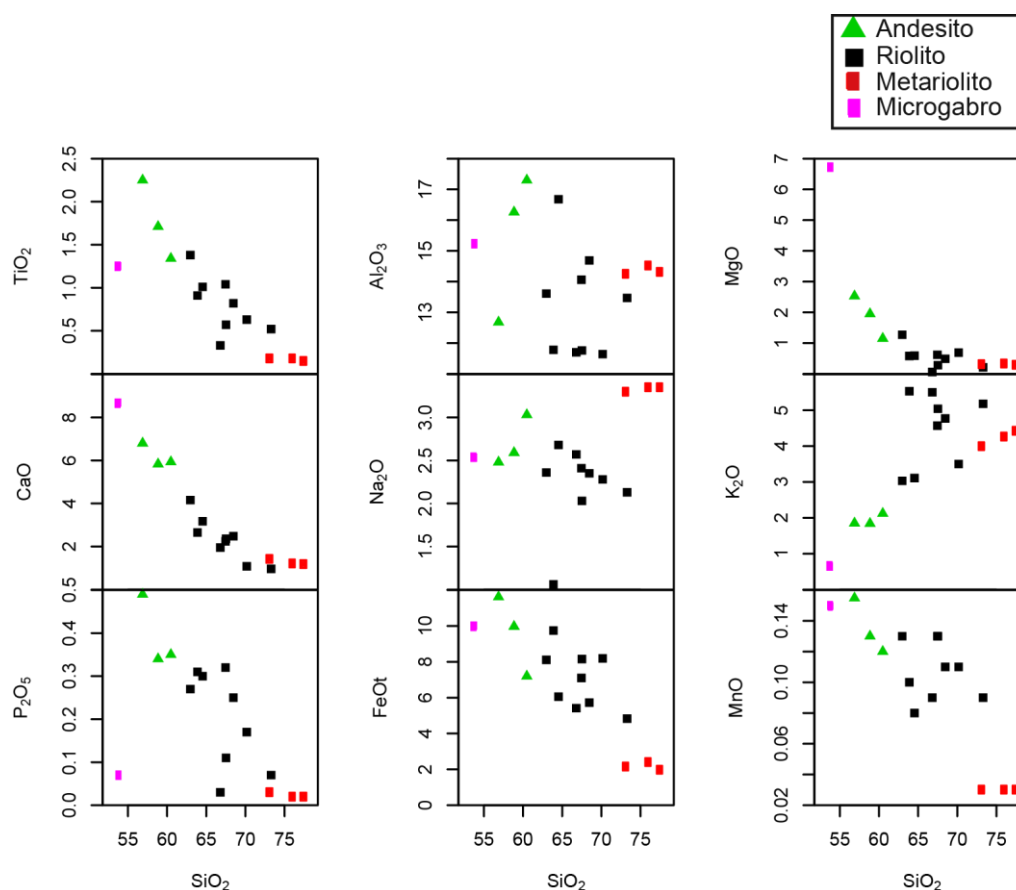


Figura 21 - Diagramas binários de variação (Harker) dos elementos maiores dos Diques Arauá. Valores em percentagem de peso.

6.3 Elementos-Traço

Nos diques intermediários as amostras de andesito, no geral, não mostram uma tendência clara e o seu comportamento aparentemente compatível para elementos que são fortemente incompatíveis, pode ser resultado de dispersão por alteração desses elementos. Nesses diques o Ba varia de 241 ppm a 1523 ppm, o Sr de 375 ppm a 515 ppm, o Rb de 35,9 ppm a 40 ppm e o Cs de 0,2 ppm a 1,13 ppm.

Para os riolitos, os conteúdos Sr variam de 104 ppm a 416 ppm, e conferem um padrão de elemento compatível, com sua diminuição conforme ocorre a diferenciação, o que sugere fracionamento de plagioclásio (Figura 22). O Rb apresenta padrão incompatível, com teores variando de 70,6 ppm a 228,7 ppm. Os elementos Ba e Cs mostram uma dispersão em relação ao índice de

diferenciação, com teores que variam de 457 ppm a 2904 ppm e 0,15 ppm a 1,86 ppm, respectivamente.

Nos diques metariolíticos os conteúdos de LILE não apresentam variações significativas entre as amostras, mostrando padrões de distribuição quase planos, o que demonstra coeficientes de partição global próximos da unidade. Nesses diques o Ba varia de 944 ppm a 1005 ppm, o Sr de 141 ppm a 153 ppm, o Rb de 129,6 ppm a 134,6 ppm e o Cs de 0,64 ppm a 0,78 ppm.

Nas amostras dos diques intermediários e riolíticos os elementos-traço de alto potencial iônico (HFSE) representados por Nb, Ta, Hf, Zr, Th e U apresentam correlações positivas com o índice de diferenciação, o que sugere um comportamento incompatível desses elementos nos processos de cristalização fracionada (Figura 22). Nos diques metariolíticos somente o Ta demonstrou uma variação significativa dos teores com padrão incompatível, enquanto que os demais elementos mantiveram padrões planos e de fato do restante das amostras. Destaca-se o enriquecimento nos conteúdos de Nb, Ta, Hf e Zr dos diques riolíticos em relação aos outros Diques Arauá.

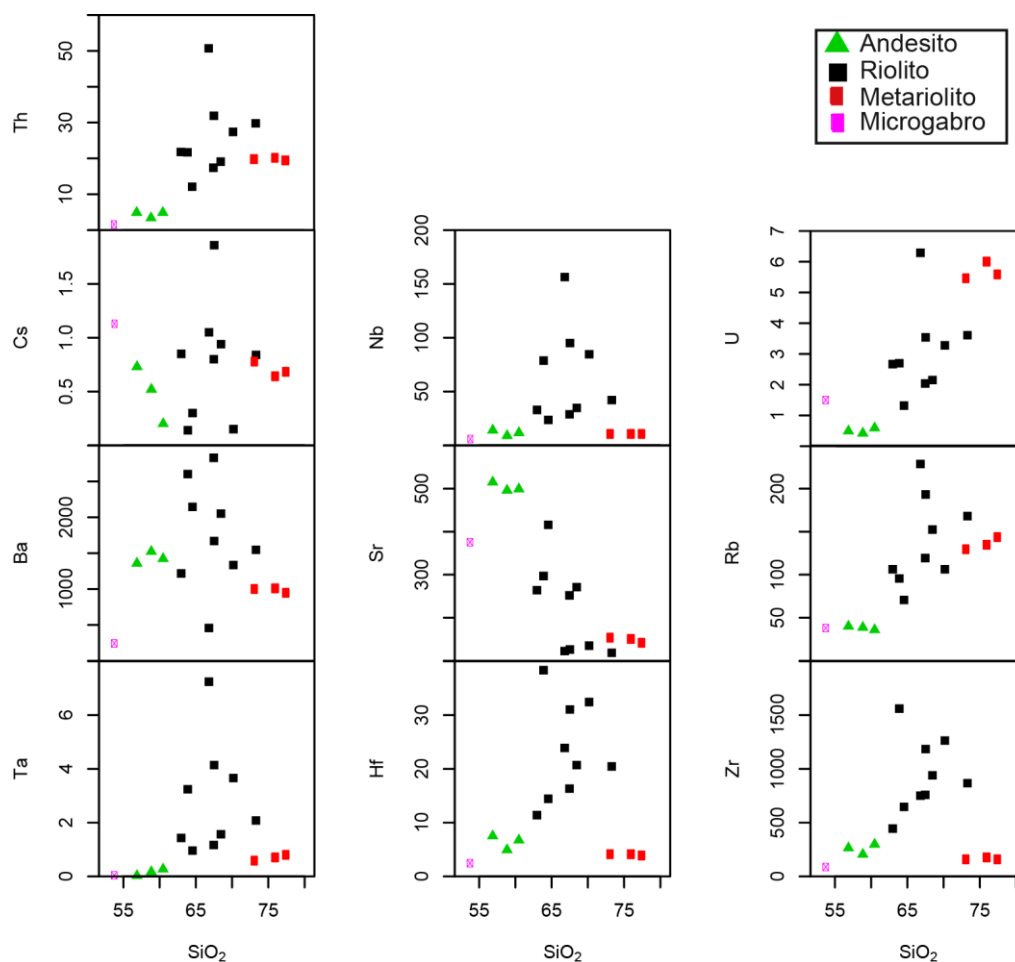


Figura 22 - Diagramas binários de variação de elementos-traço (ppm) versus SiO_2 para os Diques Arauá.

6.4 Elementos Terras Raras (ETR)

Com o objetivo de verificar o comportamento dos ETR (Elementos Terras Raras) das amostras dos diques metagabroico, andesíticos, riolíticos e metariolíticos, os conteúdos desses elementos foram normalizados pelo padrão Condritico de (Boynton, 1984). Ao observar o espectro do diagrama ETR das amostras estudadas, nota-se que as rochas dos quatro tipos de diques apresentam comportamento geoquímico distinto, porém nota-se um padrão de enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP presente em todos os diques (Figura 23).

Os conteúdos totais de ETR dos diques riolíticos são os mais elevados dos Diques Arauá, com $\sum \text{ETR} = 580,8 - 1963,2$ ppm, com enriquecimentos de

ETRL em relação a ETRP. Possuem altas a moderadas anomalias negativas de Eu, geralmente relacionada ao fracionamento de plagioclásio.

Os diques intermediários apresentam conteúdos de ETR inferiores aos riolitos e superiores aos metariolitos ($\Sigma\text{ETR} = 66,06 - 304,39$ ppm). Estas rochas possuem um padrão de distribuição de ETR menos inclinado que as dos demais diques, refletindo menores enriquecimentos de ETRL em relação a ETRP, apresentam moderados fracionamentos de ETRL e ETRP e ausência de anomalia negativa de Eu. A menor concentração de ETR ($\Sigma\text{ETR} = 66,06$) ocorre no microgabro, que também apresenta um padrão diferente do restante das rochas intermediárias.

As amostras dos diques metariolíticos apresentam as menores concentrações de ETR, com enriquecimentos de ETRL em relação a ETRP. Apresenta moderada anomalia de Eu, que em geral é relacionada ao fracionamento de plagioclásio.

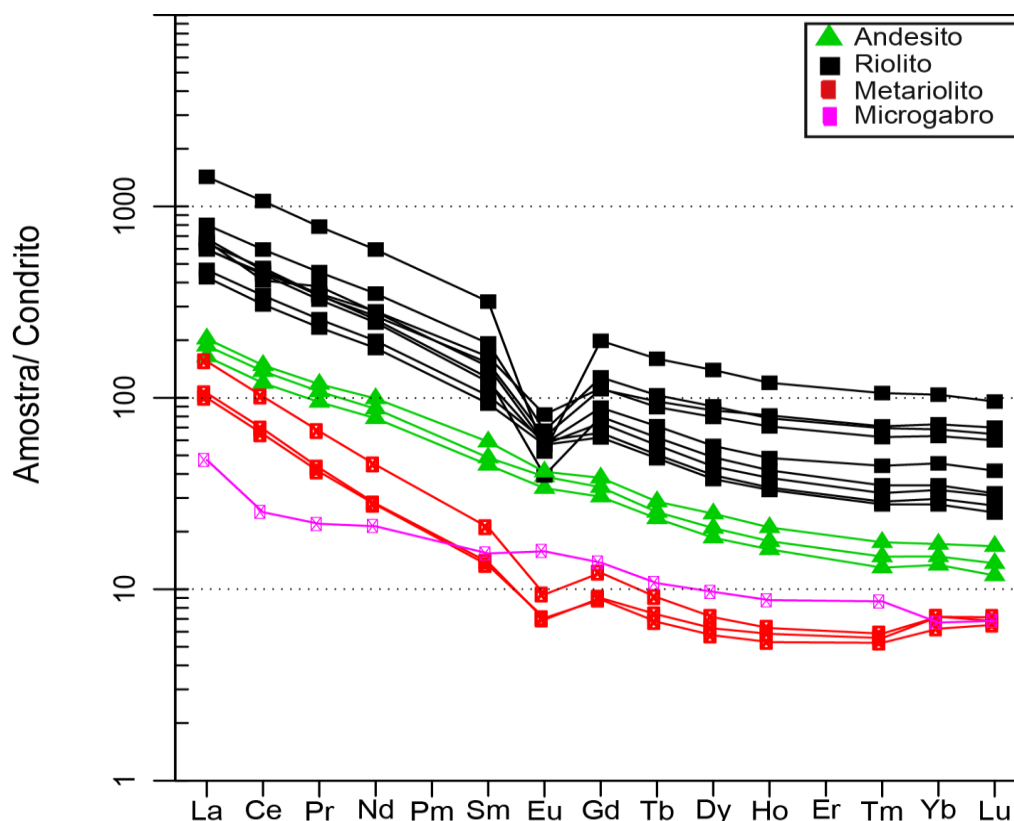


Figura 23 - Padrões dos ETR das amostras do segmento NE dos Diques Arauá. Os teores de ETR das amostras foram normalizados pelo padrão condritico de (Boynton, 1984).

6.5 CLASSIFICAÇÕES GEOQUÍMICAS E DIAGRAMAS MULTI-ELEMENTARES NORMALIZADOS

Com o intuito de classificar a afinidade geoquímica dos diques, utilizou-se o diagrama K_2O versus SiO_2 de Peccerillo & Taylor (1976). Neste diagrama, as amostras andesíticas dos diques intermediários ocupam o campo da série cálcio-alcalina, próximo ao limite com cálcio-alcalina alto-K, enquanto o microgabro plotou na linha que separa a série toleítica da série cálcio-alcalina. As amostras dos diques metariolíticos ocupam o campo da série cálcio-alcalina alto-K, enquanto que as amostras dos diques riolíticos distribuem-se entre os campos das séries cálcio-alcalina alto-K e shoshonítica (Figura 24), demonstrando um caráter mais alcalino pra essas ultimas rochas.

A afinidade alcalina dos diques riolíticos é confirmada nos diagramas de classificação de Whalen *et al.* (1987), que demonstra as suas similaridades geoquímicas com granitos tipo “A”, enquanto que os diques metariolíticos e intermediários plotam nos campos de granitos tipo I e S e de granitos fracionados (Figura 25).

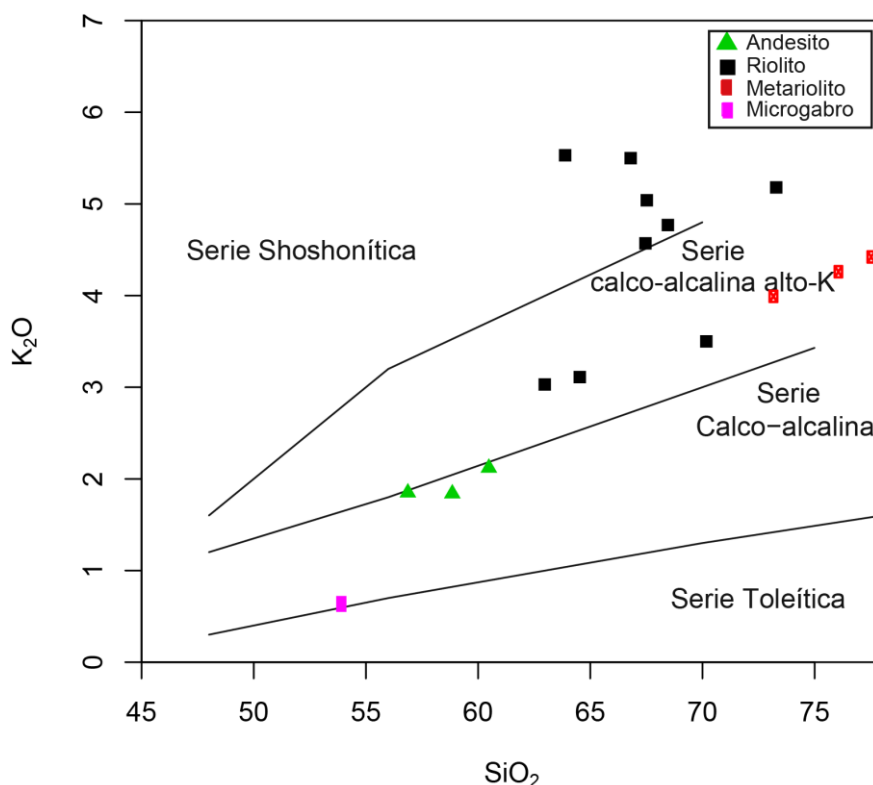


Figura 24 - Diagrama K_2O versus SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976).

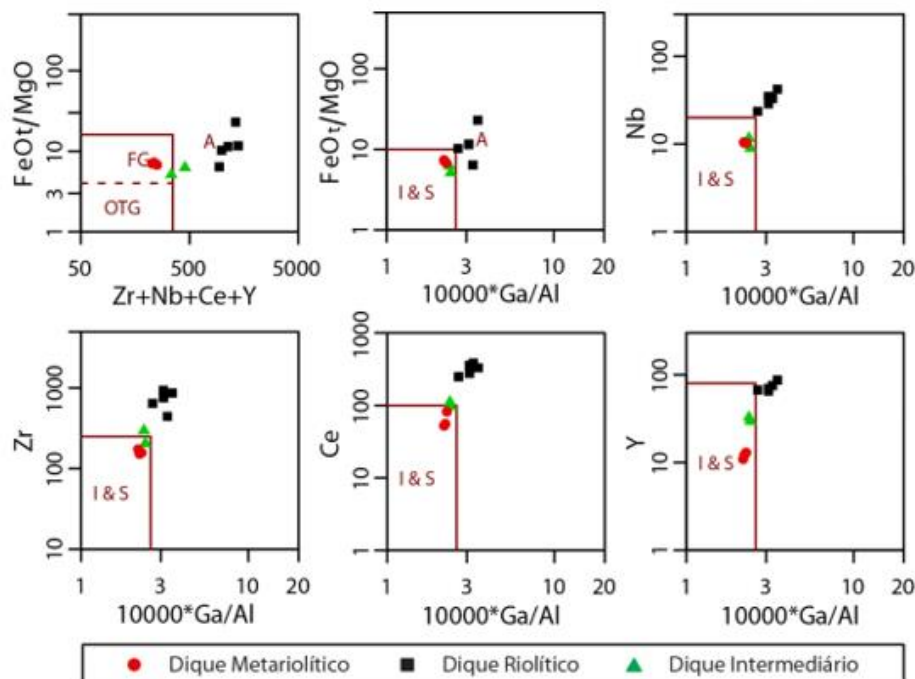


Figura 25 - Representação das amostras analisadas nos diagramas de Whalen *et al.* (1987). A: granitos tipo A (anorogênicos); FG: granitos fracionados; OTG: granitos não fracionados; I: granito de fonte ígnea; S: granito de fonte sedimentar. (extraído de Soares 2015).

No diagrama Shand (1943) as amostras dos diques de rocha intermediária apresentam características metaluminosas com $A/NK > 1$ e $A/CNK < 1$, enquanto que as rochas dos diques metariolíticos posicionam-se no campo das peraluminosas (Figura 26). Os resultados dos diques riolíticos plotam tanto no campo das metaluminosas, quanto no das peraluminosas.

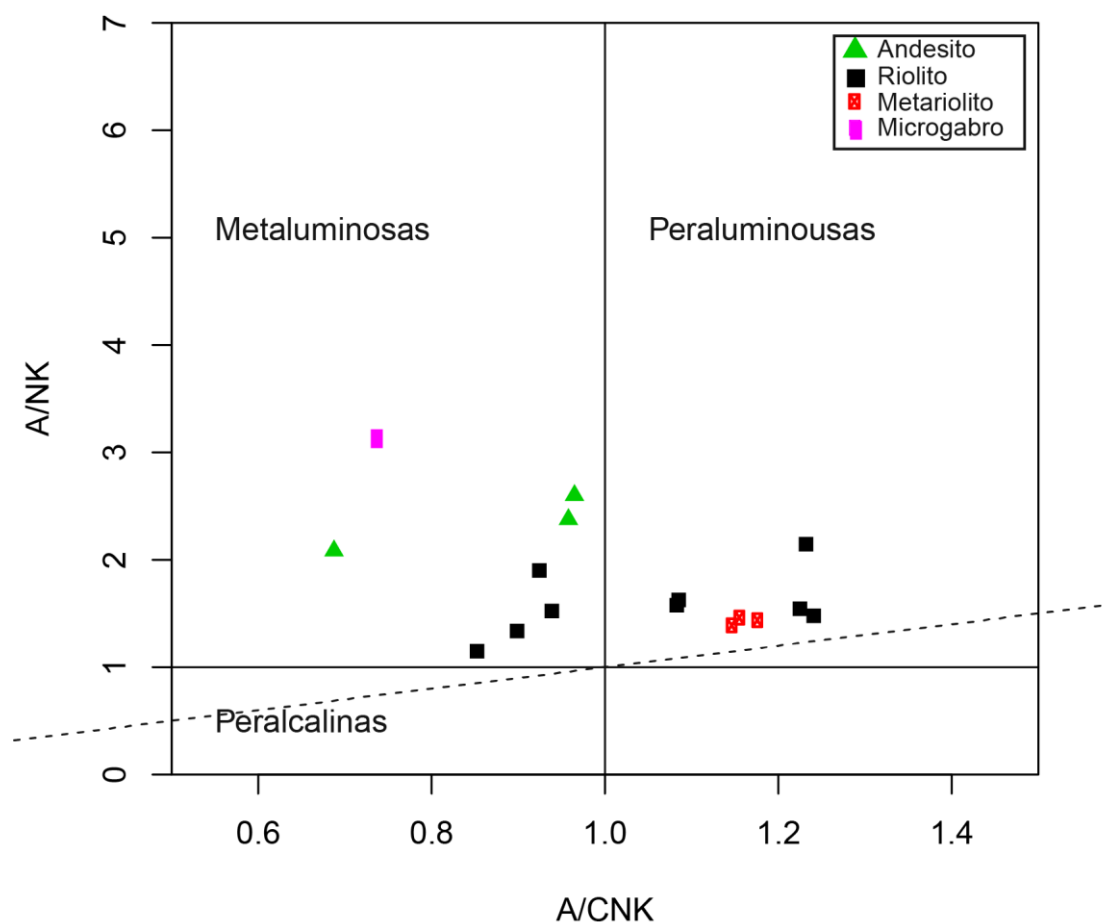


Figura 26 - Diagrama discriminante de A/CNK versus A/NK (Shand, 1943).

Para a avaliação do padrão dos elementos químicos dos Diques Arauá foi construído um diagrama multi-elementar com dados normalizados pelo MORB de Pearce (1983) (Figura 27).

A distribuição dos elementos nos diques intermediários é marcada por anomalias positivas de Ba, e negativa de Nb e Ta, que são acompanhadas por padrões enriquecidos de Rb, Th, e Ce, e fracas anomalias negativas de Ti, Zr e Hf, além do empobrecimento de Sr.

Os diques riolíticos apresentam padrões dos elementos marcados pelas anomalias negativas de Nb, Ta, P e Ti, acompanhadas pelo forte enriquecimento dos elementos Rb, Ba, Th, e Ce.

No diagrama multi-elementar os dados dos diques metariolíticos mostram um padrão de elementos marcado pelo enriquecimento dos LILEs, anomalias

negativas de Sr, Nb, Ta, P e Ti em relação aos seus elementos vizinhos (Figura 27).

O dique microgabróico, no diagrama multi-elementar, apresenta um padrão enriquecido nos LILEs acompanhado por uma tendência de decréscimo do Rb para o Th. Destaca-se as anomalias negativas de Nb e Ta e P.

Segundo Best (2003), anomalias negativas de Nb-Ta-Ti são típicas em rochas geradas em ambientes de arco, onde esses elementos são imóveis e ficam retidos na fonte, enquanto que os LILE são móveis e apresentam padrões de enriquecimento nessas rochas.

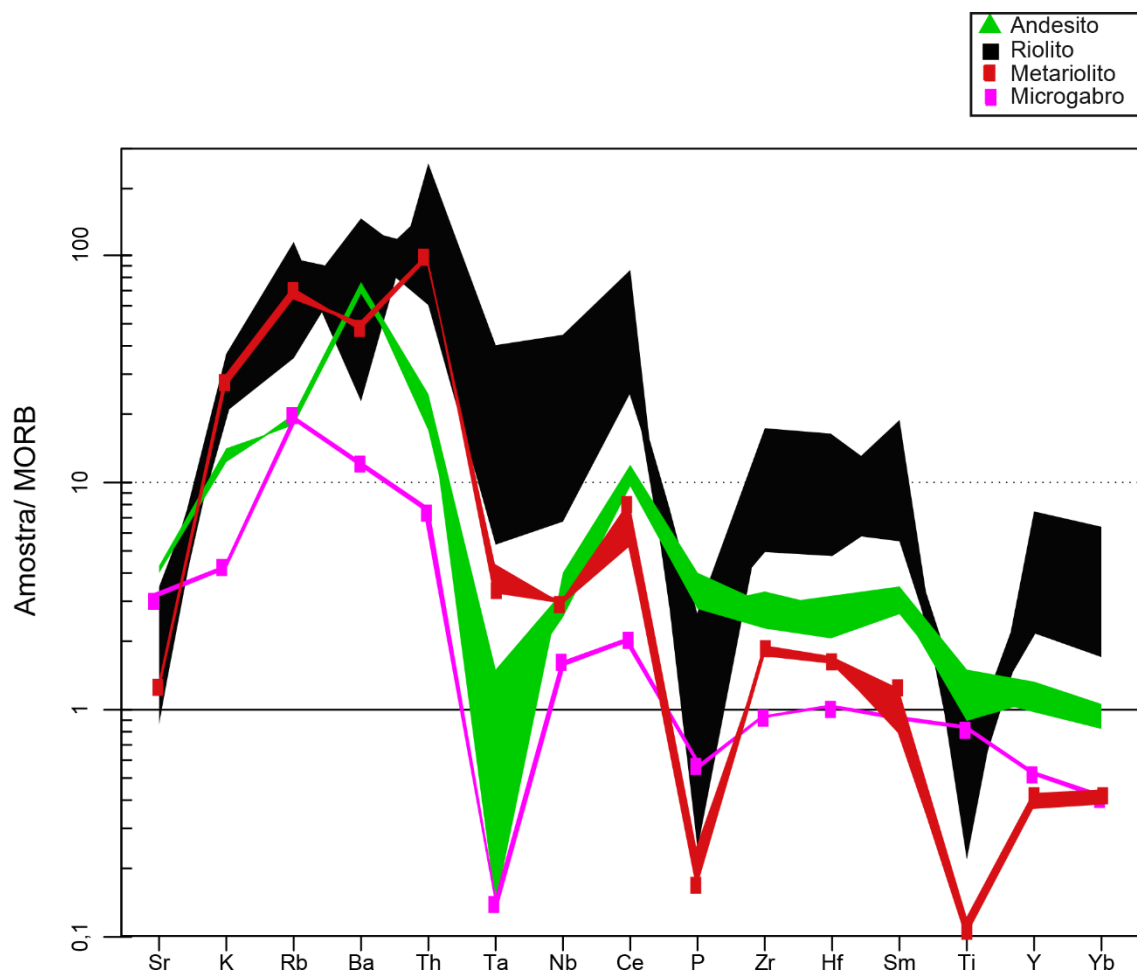


Figura 27 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB Pearce (1983), das amostras dos diques intermediários, riolíticos e metariolíticos.

6.6 Ambiente Tectônico

Com o intuito de classificar o ambiente tectônico usando características geoquímicas, foi escolhido o diagrama de Pearce *et al.* (1984). Todas as amostras dos litotipos estudados foram plotadas nos diagramas Rb *versus* Y+Nb e Rb *versus* Ta+Yb de Pearce *et al.* (1984). Estas amostras indicam distribuição preferencial nos campos dos granitos intraplaca (WPG) para os diques riolíticos, e de arco vulcânico (VAG) para os diques intermediários e metariolíticos (Figura 28).

No diagrama de ternário Y-Nb-Ce de Eby (1992) os diques riolíticos ocupam o campo de granitos tipo A2, que são gerados da fusão de litosfera subcontinental e crosta em ambientes pós-colisionais, comumente de 10 a 20 Ma após o tectonismo compressional (Figura 29).

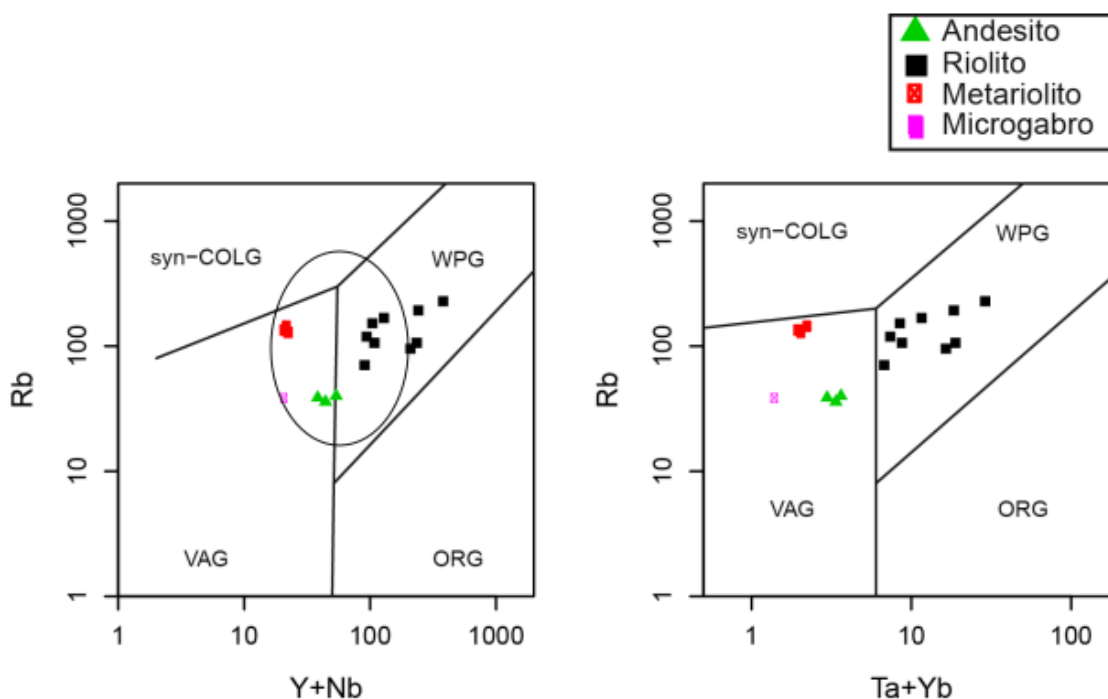


Figura 28 - Diagramas de discriminação tectônica para granitoides (Pearce et al. 1984). ORG = granitos de cordilheiras oceânicas; VAG = granitos de arco vulcânico; WPG = granitos de intraplaca; syn-COLG = granitos sin-colisionais; O círculo da figura Y+Nb representa o campo de pós-colisional proposto por Pearce (1996).

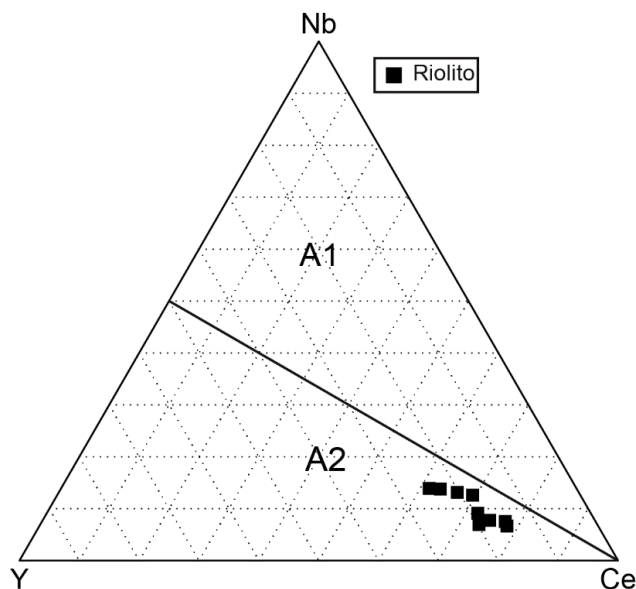


Figura 29 - Representação das amostras analisadas no diagrama Y-Ce-Nb (Eby 1992). A1, granito relacionado a fonte derivada de magma basáltico intraplaca similar a basalto de ilha oceânica (OIB); A2, granito relacionado a fonte litosférica subcontinental ou a crosta inferior.

6.7 Geoquímica Isotópica Sm-Nd dos Diques Arauá

Para a determinação de isótopos de Sm-Nd dos Diques Arauá foram selecionadas três amostras representativas dos diferentes tipos de diques (CV36 - monzodiorito, CIV15003 - riolito e CVA15015 - metariolito). Nesta determinação foram calculadas as idades modelo (TDM) e valores ϵNd para o tempo de cristalização. Os resultados detalhados da geoquímica isotópica Sm-Nd são encontrada na tabela 2. Nos cálculos de ϵNd foi assumido a idade de 2.015 Ma para cristalização dos diques (Oliveira, 2014).

A idade TDM dessas rochas revelaram idades Neoarqueanas, com 2,80 Ga para o dique riolítico, 3,0 Ga para o dique monzodiorítico (intermediário) e 3,02 Ga para o dique metariolítico (Figura 30).

Os valores de ϵNd obtidos nos diques são essencialmente negativos, com valores de $\epsilon\text{Nd}(0)$ de -35,21 para o metariolito, -29,77 para o monzodiorito e -29,36 no riolito. Os valores calculados para a idade de cristalização dos diques resultaram em $\epsilon\text{Nd}(t)$ variando entre -6,66 e -10,49 (Fig. 31), que evidenciam que as rochas sofrerem contaminação crustal (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados isotópicos Sm-Nd de três amostras dos Diques Arauá. Dados de $\epsilon Nd(t)$ calculados com base na idade de cristalização de 2.015 Ma (Oliveira, 2014).

| Amostra | ROCHA | Sm(ppm) | Nd(ppm) | $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ | $\epsilon Nd(0)$ | $\epsilon Nd(t)$ | Nd-TDM |
|----------|--------------|---------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------|
| CIV15003 | Riolito | 17,48 | 97,07 | 0,1089 | 0,511133 | -29,36 | -6,66 | 2,80 |
| CV36 | Monzodiorito | 8,37 | 44,27 | 0,1143 | 0,511112 | -29,77 | -8,49 | 3,00 |
| CVA15015 | Metariolito | 2,25 | 13,47 | 0,1009 | 0,510833 | -35,21 | -10,49 | 3,02 |

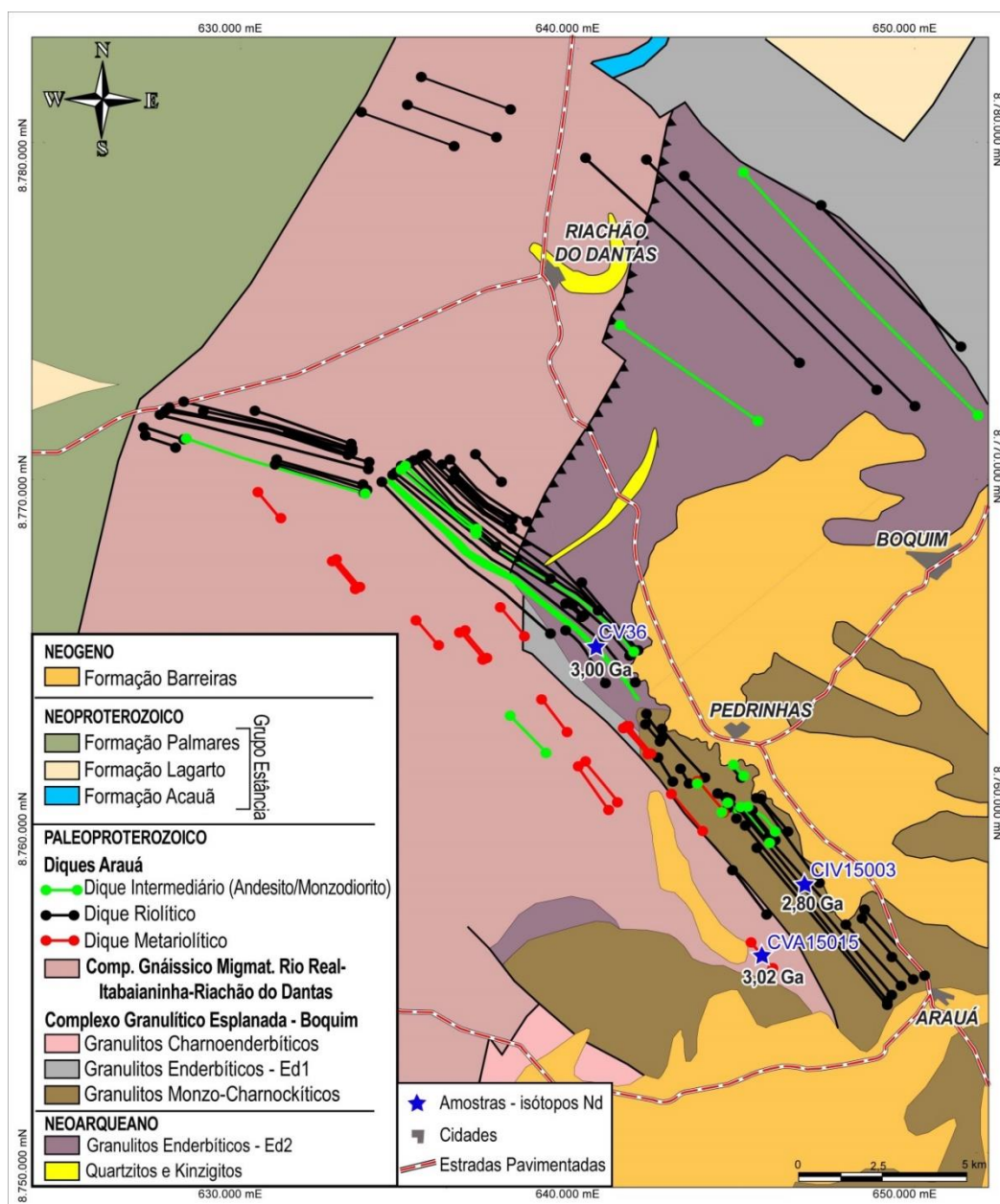


Figura 30 – Mapa geológico dos Diques Arauá destacando as idades modelo (TDM) obtidas neste trabalho.

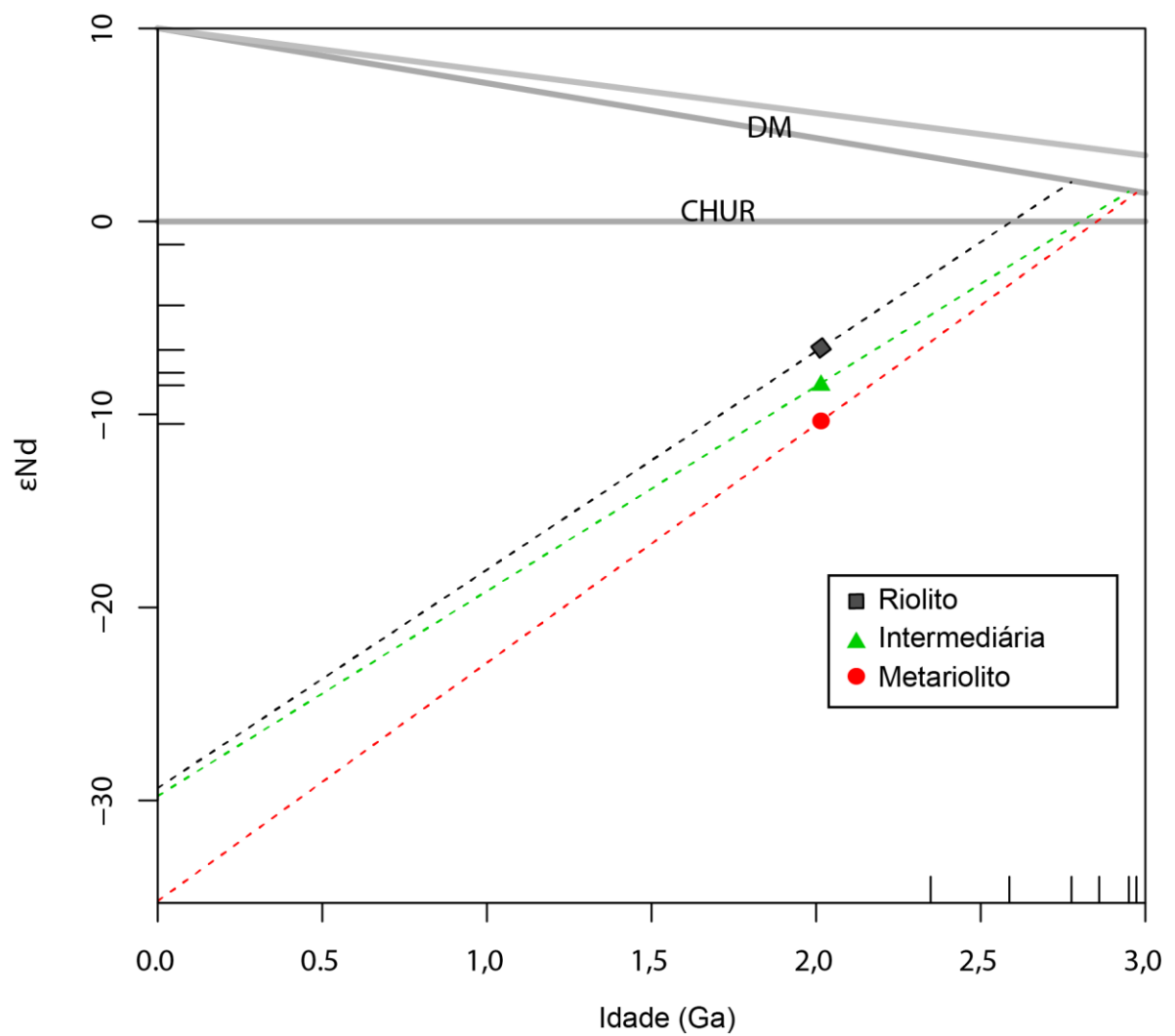


Figura 31 - Diagrama ϵ_{Nd} versus tempo geológico $T(Ga)$. Os dados isotópicos encontram-se na tabela 2.

7. DISCUSSÕES

Com o intuito de compreender o caráter evoluído dos Diques de Arauá, observadas as características geoquímicas e isotópicas, optou-se por comparar os dados geoquímicos dos Diques Arauá com os do embasamento metamórfico, e assim identificar os possíveis contaminantes crustais desses diques.

Com o objetivo de aumentar o número de dados isotópicos Sm-Nd dos Diques Arauá, foram agregados a este trabalho os dados de 5 amostras obtidas por D'el-Rey Silva (2005) e 1 amostra obtida por Oliveira (2014), totalizando 9 dados isotópicos Sm-Nd. Os dados geoquímicos e isotópicos do embasamento foram compilados de Oliveira (2014), para o CGEB, e de Almeida Junior (2014) para o CGMRIR.

Um mapa geológico com a localização das amostras de geoquímica e de isótopos Sm-Nd está exibido na figura 32 com o objetivo de auxiliar nas discussões das interpretações dos resultados. Nesta figura é possível observar que as amostras analisadas dos diques riolíticos foram obtidos de diques encaixados nos granulitos monzo-charnockíticos (MCh) e nos granulitos enderbíticos Ed2 do CGEB. Os intermediários (microbasalto, andesíticos e monzodiorito) por sua vez, estão encaixados nos granulitos enderbíticos Ed2 e monzocharnockíticos, enquanto que diques metariolíticos estão encaixados nas rochas do CGMRIR.

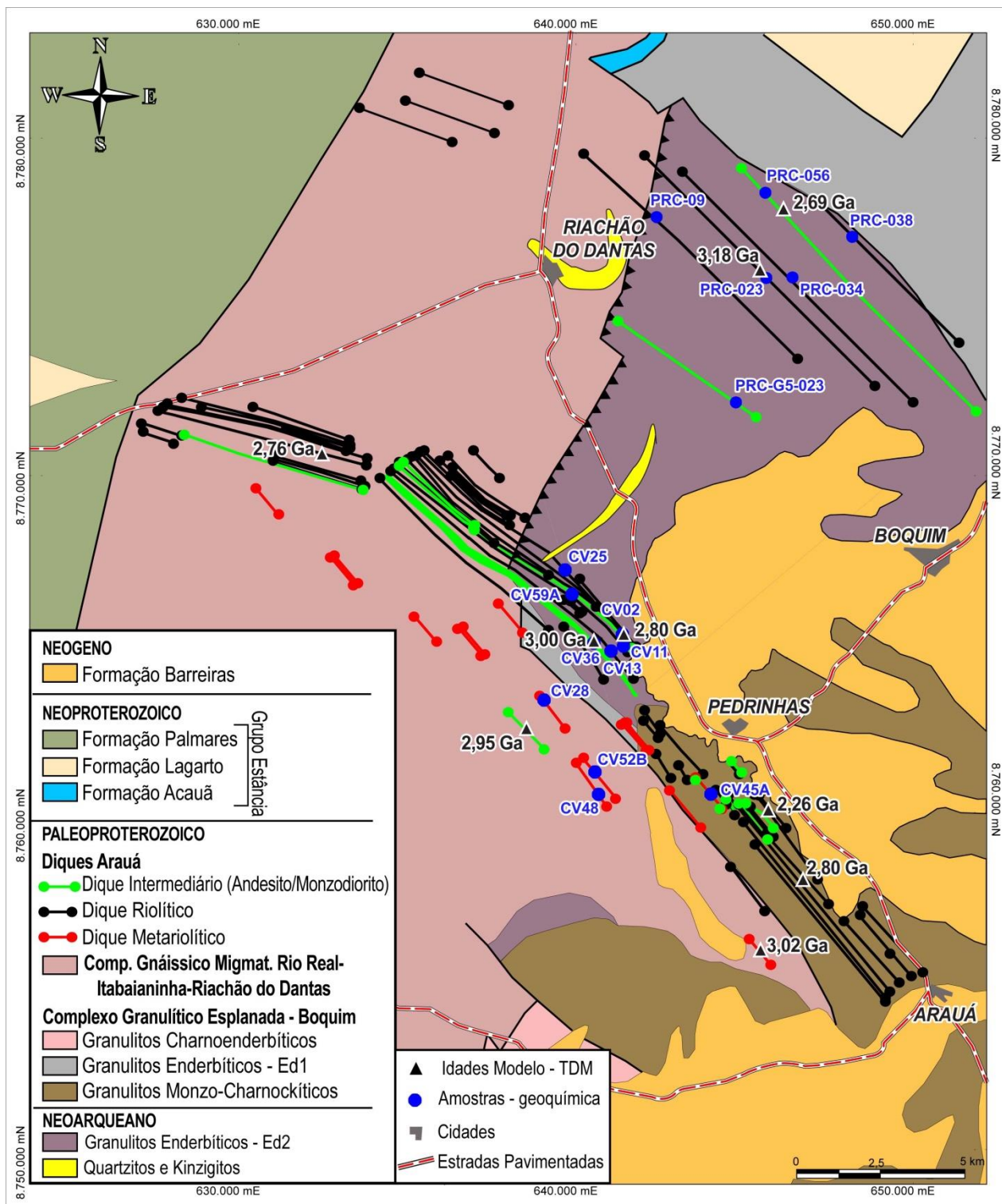


Figura 32 – Mapa geológico dos Diques Arauá com a localização dos dados geoquímicos e isotópicos Sm-Nd utilizados no trabalho. Os dados geoquímicos foram compilados de Soares (2015) e Santos (2018), enquanto que os dados isotópicos Sm-Nd compreendem 3 dados inéditos, 5 obtidos de D’el-Rey Silva (2005) e 1 de Oliveira (2014).

7.1 Comparações Litogeoquímicas

Os dados de litoquímica dos Diques Arauá sugere uma variação de afinidades geoquímicas, conforme apontado por Soares (2015), Liz *et al.* (2016), Liz *et al.* (2017) e Santos (2018). Os diques riolíticos apresentam características compatíveis com magmatismo tipo-A, os metariolíticos são rochas altamente fracionadas de afinidade cálcio-alkalina alto potássio, enquanto que os diques intermediários apresentam afinidade cálcio-alkalina médio potássio. Apesar das diferenças geoquímicas expressadas em afinidades e padrões de ETR distintos, estas rochas apresentam assinaturas de elementos-traço, marcadas por anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e Sr, que sugerem fontes relacionadas com subducção (Soares, 2015). Este autor sugere um modelo petrogenético para a geração dos diques, a partir de um processo de *slab-breakoff*, que teria promovido uma perturbação térmica devido à ascensão da astenosfera, o que implicaria em diferentes graus de fusão parcial do manto litosférico subcontinental metassomatizado por subducção prévia. Soares (2015) aponta a possibilidade de diferentes graus de assimilação crustal ter ocorrido durante a ascensão dos magmas dos diques até os seus posicionamentos finais.

Shellnutt *et al.* (2009) destaca que a razão Th/Ta é uma importante ferramenta para detectar interações magma – crosta, pois rochas derivadas do manto apresentam razões Th/Ta ≈ 2 , que são menores que as razões da crosta inferior (Th/Ta $\approx 7,9$) ou crosta superior (Th/Ta $\approx 6,9$). Nas amostras dos diques metariolíticos a razão Th/Ta varia de 24,68 a 33,39, nos diques andesíticos a razão Th/Ta varia de 15,2 a 20, enquanto que nos diques riolíticos as razões Th/Ta variam de 6,69 a 14,32, indicando contribuições crustais para a origem dessas rochas.

Com o objetivo de investigar as possíveis contribuições das encaixantes na geração dos Diques Arauá, foram efetuados gráficos multi-elementares para comparar as assinaturas dos diques intermediários, riolíticos e metariolíticos com os granulitos do CGEB e gnáisses do CGMRIR. Por fim, essa comparação é confrontada com os dados isotópicos Sm-Nd existentes.

7.1.1 Diques Intermediários

Os diques intermediários em comparação com as rochas do embasamento no diagrama multi-elementar demonstram similaridade dos padrões geoquímicos com as rochas granulíticas Ed2 e Ch-Ed (Figura 33). Os enderbitos Ed2 são encaixantes dos diques intermediários (Figura 32), o que sugere possíveis contribuições desta encaixante para formação desses diques. Nesta comparação não foi observado similaridades entre a assinatura dos diques intermediários e os granulitos monzocharnockíticos, o que sugere que não houve contribuições consideráveis desta unidade nessas rochas. Por outro lado, nota-se a similaridade da assinatura dos diques intermediários com os granulitos charnoenderbíticos, que podem ter contribuído na formação dessas rochas.

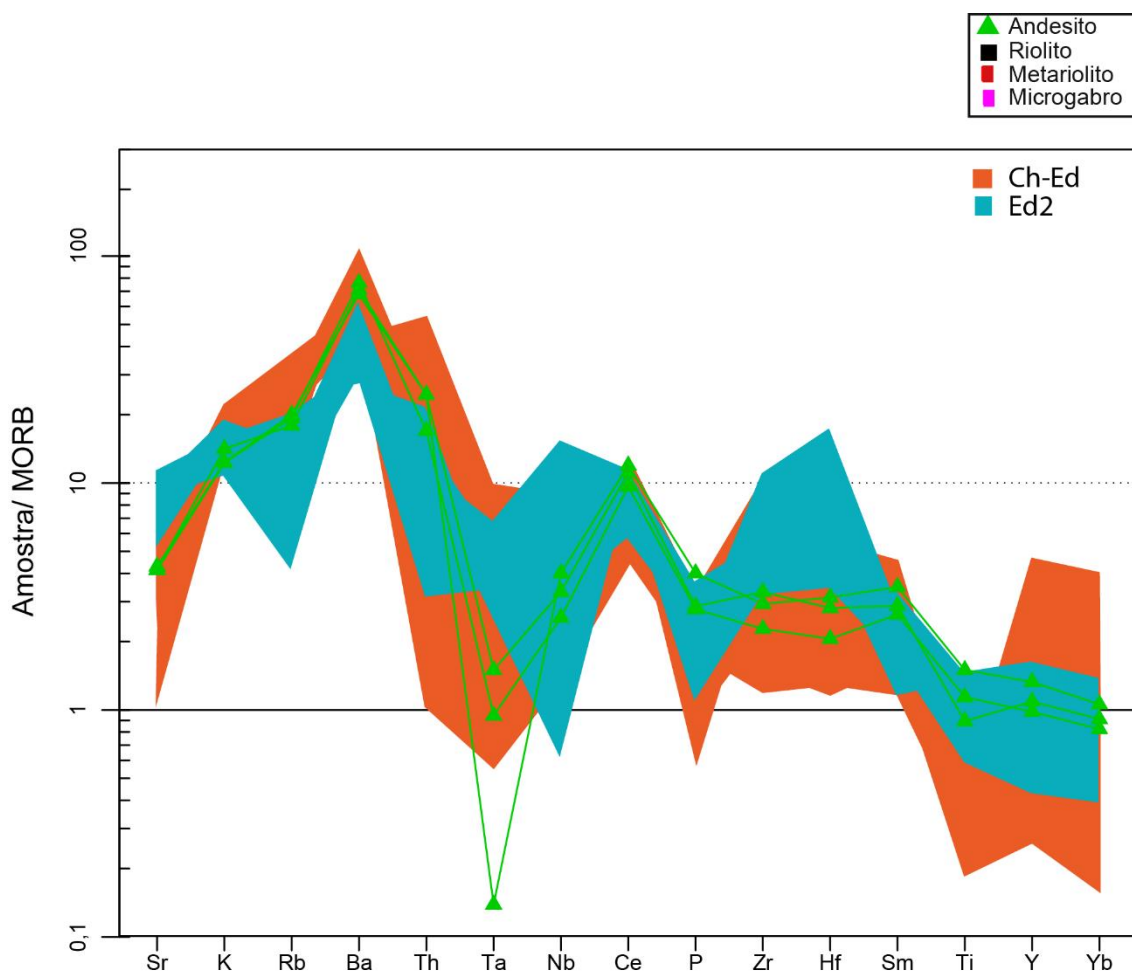


Figura 33 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce, 1983), com comparação entre as amostras dos diques intermediários e os granulitos Ch-Ed e Ed2.

7.1.2 Diques Riolíuticos

O dique riolítico apresenta uma assinatura geoquímica observada no diagrama multi-elementar semelhante aos granulitos monzocharnockíticos do CGEB e gnaisses do CGMRIR, o que sugere a possibilidade de contribuição dessas rochas na formação desses diques (Figura 34).

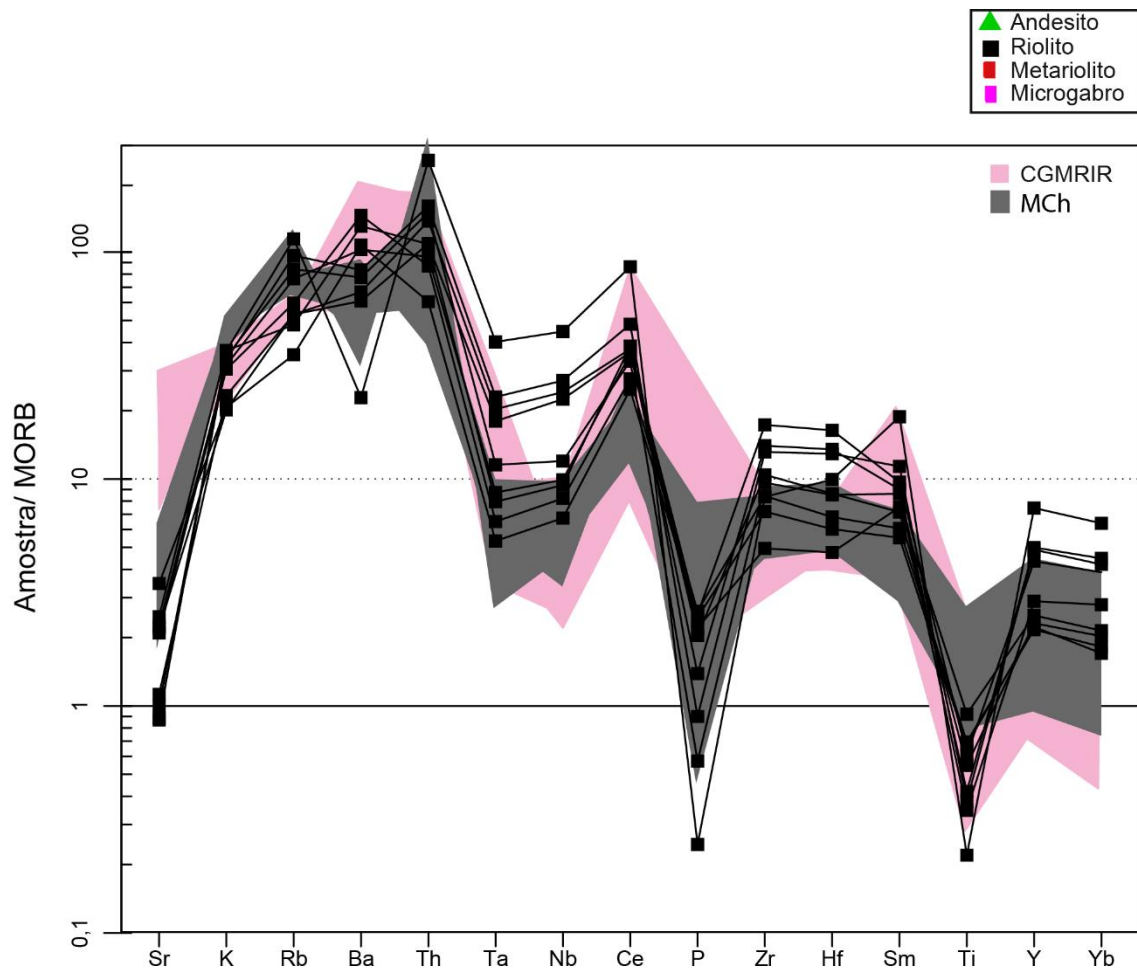


Figura 34 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce 1983), comparação dos diques riolíticos com a encaixante MCh, e rochas do CGMRIR.

7.1.3 Diques Metariolíticos

Os diques metariolíticos, por sua vez, apresentam uma assinatura em parte similar aos granulitos monzo-charnockíticos, e rochas do CGMRIR, principalmente nos LILE e alguns HSFE (Ta e Nb). Entretanto os valores de ETR são inferiores aos das unidades supracitadas, assim como os valores de P, Zr-Hf e Ti. (Figura 35). Considerando que as rochas metariolíticas são muito evoluídas, com alta sílica, e apesar disso possuem valores muito baixos de ETRs e HSF, assume-se que a sua origem não possui grande influência com a contaminação crustal das rochas do embasamento.

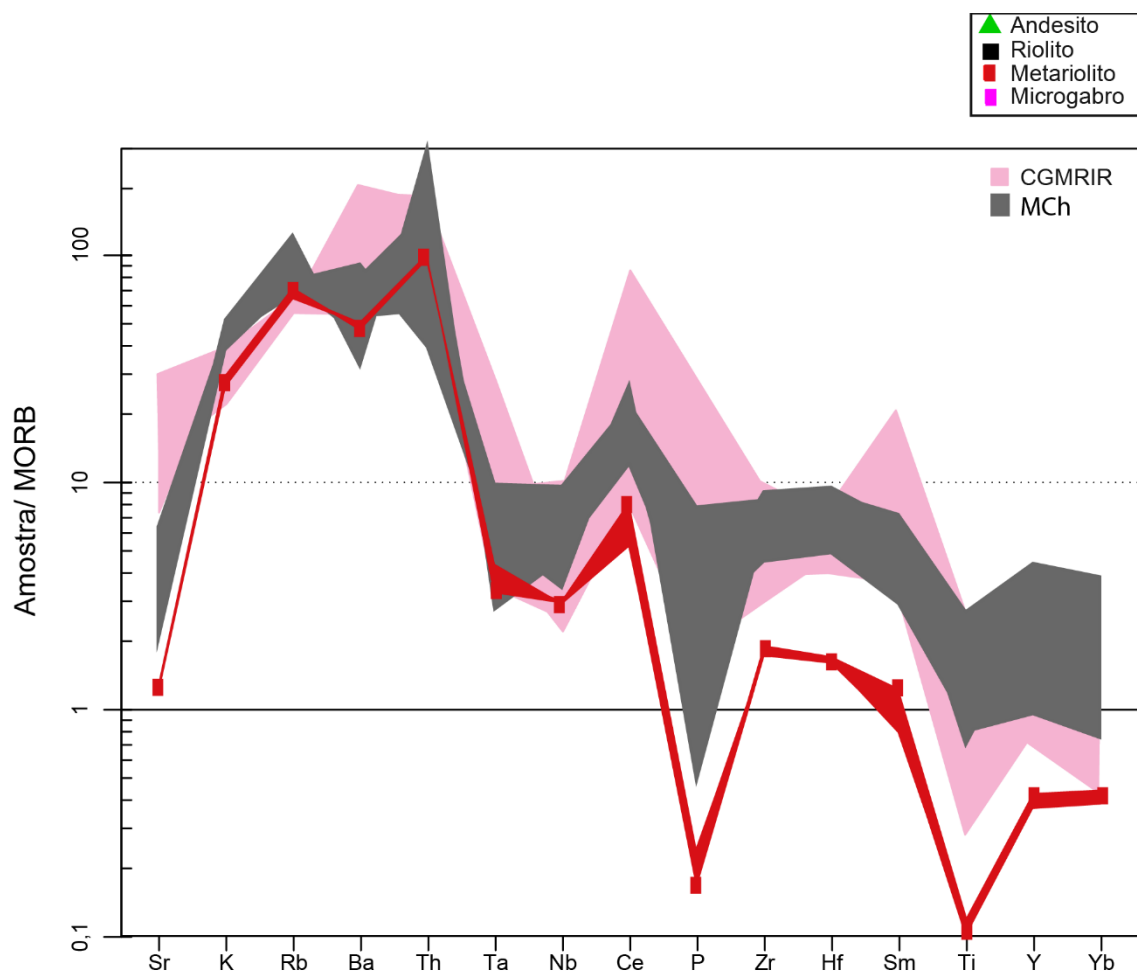


Figura 35 - Diagrama multi-elementar normalizados pelo MORB (Pearce 1983), comparando as encaixantes MCh e rochas do CGMRIR.

7.2 Dados isotópicos Sm-Nd

Os resultados isotópicos de Sm-Nd dos Diques Arauá (Tabela 3) apresentaram valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ essencialmente negativos, quando calculados para a idade de cristalização de 2.015 Ma. Esses valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ variaram de -0,54 a -10,98, que evidenciam diferentes graus de contaminação crustal na geração dessas essas rochas.

As idades modelo TDM, obtidas para o embasamento por Oliveira (2014), indicam idades de 2,33 Ga para os Ch-Ed, 2,60 Ga para os MCh e 2,90 Ga para os Ed2. Enquanto que as idades modelo TDM dos Diques Arauá apresentam idades de 2,26 até 3,18 Ga. A idade mais jovem (2,26 Ga), obtida em um dique riolítico, assemelha-se com a obtida nos granulitos Ch-Ed, enquanto que as idades mais velhas, obtidas nessas rochas são próximas às obtidas no granulito enderbítico Ed2. As idades obtidas nos diques intermediários e metariolítico (2,95 – 3,18 Ga) são mais velhas que as obtidas nas rochas do embasamento, o que abre a possibilidade de haver um range maior de idades TDM nas rochas do embasamento.

Nos dados isotópicos Sm-Nd dos Diques Arauá, plotados juntamente com os dados do embasamento obtidos por Oliveira (2014) (Figura 37) é visível um paralelismo entre a maioria das amostras, indicando que as rochas do CGEB podem, em parte, representar os contaminantes dos Diques Arauá, conforme sugerido na comparação geoquímica. Entretanto há a necessidade da existência de outro membro final, mais antigo (idades TDM próximo de 3.0 Ga) e com $\epsilon\text{Nd}(0)$ abaixo de -35,2. Vale ressaltar a diminuta quantidade de dados isotópicos de Sm-Nd dos granulitos CGEB, além da ausência de destes para os gnáisses do CGMRIR e nas rochas granulíticas paraderivadas que ocorrem como xenólitos dentro do CGEB e CGMRIR, que possivelmente são mais antigas que 2,5 Ga (idade de cristalização do Ed2).

Outra hipótese seria a contaminação por um embasamento não aflorante de idade Arqueana, semelhante aos encontrados no Bloco Serrinha, complexo

Santa Luz e Uauá, onde foram registradas idades de cristalização em torno de 3.0 Ga.

Tabela 3 – Compilação dos dados isotópicos Sm-Nd dos Diques Arauá. Autores: 1- este trabalho; 2- D’el-Rey Silva (2005); 3 – Oliveira (2014)

| Amostra | ROCHA | $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ | $\epsilon\text{Nd}(0)$ | $\epsilon\text{Nd}(t)$ | Nd-TDM | Autor |
|----------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------|----------|
| CIV15003 | Riolito | 0,1089 | 0,511133 | -29,36 | -6,66 | 2,80 | 1 |
| CV36 | Monzodiorito | 0,1143 | 0,511112 | -29,77 | -8,49 | 3,00 | 1 |
| CVA15015 | Metariolito | 0,1009 | 0,510833 | -35,21 | -10,49 | 3,02 | 1 |
| A1/02 | Riolito | 0,1155 | 0,511307 | -25,97 | -4,98 | 2,70 | 2 |
| A2/02 | Andesito | 0,1498 | 0,511727 | -17,78 | -5,66 | 3,18 | 2 |
| A3/02 | Riolito | 0,1028 | 0,511 | -31,95 | -7,69 | 2,80 | 2 |
| A4/02 | Andesito | 0,0919 | 0,510688 | -34,05 | -10,98 | 2,95 | 2 |
| A5/02 | Riolito | 0,1045 | 0,511065 | -30,68 | -6,86 | 2,76 | 2 |
| SE-99 | Riolito | 0,0768 | 0,511020 | -31,56 | -0,54 | 2,26 | 3 |

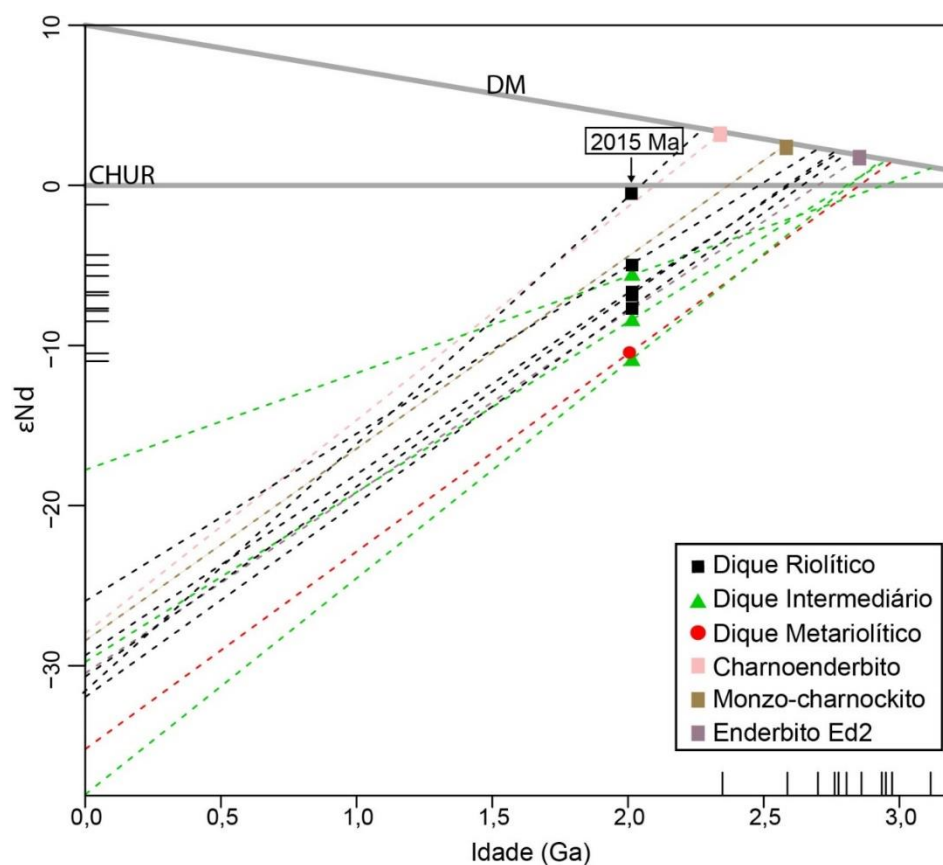


Figura 36 - Análises dos dados isotópicos, mostrando a plotagem dos diques apresentados nesse trabalho, além dos exemplificados por D’el-Rey Silva (2005) e dados do embasamento mostrados por Oliveira (2014).

8. CONCLUSÕES

A partir do estudo geoquímico e isotópico Sm-Nd dos Diques Arauá é possível concluir que:

1. Os diques metariolíticos são rochas altamente fracionadas de afinidade cálcio-alkalina alto potássio metamorfasadas em fácies xisto verde, eles se posicionaram ainda em um campo tensional vigente, evidenciadas na deformação presente na mineralogia e anisotropia. Os diques riolíticos são rochas ácidas com características compatíveis com magmatismo tipo-A e ocorrem posteriores aos metariolíticos, enquanto que os diques intermediários são rochas de afinidade cálcio-alkalina médio potássio, exceto o dique microgabroico que foi plotado na linha entre a série toleítica e a série cálcio-alkalina. Os diques intermediários ocorrem por último, sendo evidenciado pelos diques andesíticos cortando os diques riolíticos. Apesar das diferenças geoquímicas expressadas em afinidades e padrões ETR distintos, estas rochas apresentam assinaturas de elementos-traço, marcadas por anomalias negativas de Nb, Ta, Ti e Sr, que sugerem fontes relacionadas com subducção.

2. As altas razões Th/Ta (6,69 a 33,39), bem como os valores de $\epsilon_{Nd}(t)$ negativos (-0,54 a -10,98) indicam contribuições crustais para a origem das rochas que compõem os Diques Arauá.

3. Na comparação geoquímica das rochas do embasamento com as dos Diques Arauá, observa-se a similaridade de padrões geoquímicos entre os diques intermediários com as rochas granulíticas Ed2 e Ch-Ed, entre os diques riolíticos com os granulitos monzocharnockíticos e gnaisses do CGMRIR, enquanto que os diques metariolíticos não apresentam assinaturas semelhantes consideráveis com as rochas do embasamento.

4. As idades modelo TDM maiores que 2,9 Ga, obtidas nos diques andesíticos e metariolíticos, demonstram a existência de rochas com idades modelo TDM mais antigas no embasamento do que as obtidas no CGEB por Oliveira (2014). Vale ressaltar a reduzida disponibilidade de dados isotópicos de Sm-Nd dos granulitos CGEB, além da ausência destes para os gnaisses do

CGMRIR e nas rochas granulíticas paraderivadas que ocorrem como xenólitos dentro do CGEB e CGMRIR, que podem evidenciar se analisadas, possíveis similaridades com as rochas dos Diques Arauá.

9. BIBLIOGRAFIA

Alkimin F.F., Neves B.B.B., Alves J.A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – Uma revisão. In: Dominguez J.M.L. & Misi A. (ed.) O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG-NBA/SE, SGM, CNPq. p.45 – 62.

Alkmin F.F.D. 2004. O que faz de um Cráton ou Cráton? O Cráton do São Francisco e as suas revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: Neto V(orgs). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, São Paulo, Brasil, p. 17-35.

Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7:349-364.

Almeida Junior, M. V. C. Petrografia, Litogeoquímica e Geocronologia das Rochas Gnáissicas-migmatíticas do Extremo Norte do Cinturão Salvador-Esplanada. 2014. 100f. Trabalho para obtenção de título de Mestre em Geologia – Universidade Federal da Bahia, Salvador 2014.

Alves, D. N. O.; Mapeamento Geológico de Detalhe e Petrografia dos Litotipos do Jardim de Alah, Salvador-Bahia. Salvador. 2013. Universidade Federal da Bahia.

Barbosa J.S.F. & Dominguez J.M.L. (Orgs.), 1996. Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia – Esc. 1:1.000.000. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia, SGM/PPPG/FAPEX/CPGG. Salvador-BA, 295 p.

Barbosa J.S.F. & Sabaté P. 2002. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archaean Crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brasil. A Synthesis. Anais Academia Brasileira de Ciências, 74: 344-357.

Barbosa J.S.F. & Sabaté P. 2003. Colagem paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton São Francisco na Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 33: 7-120.

Barbosa J.S.F. & Sabaté P. 2004. Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: Geodynamic features. *Precambrian Research*, 133: 1-27.

Best M. G. 2003. *Igneous and metamorphic petrology*. Second Edition, Blackwell Science Ltd, 758 p.

Boynton, W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, p. 63-114.

Brito Neves B.B., Sial, A.N., Beurlen, 1977. H. O sistema de dobramento Sergipana – Análise do conhecimento. In: *Reunião Preparatória do Simpósio do Cráton do São Francisco e Faixas Marginais*, 3., 1977, Salvador. Resumos. Bahia: SBG, p. 369-391.

Brito Neves, B. B.; SÁ, J. M.; NILSON, A. A. A Tafrogênese Estateriana nos Blocos Paleoproterozóicos da América do Sul e Processos subsequentes. *Geonomos, Minas Gerais*, v. 3, n. 2, p. 1-21. 1995.

Cordani U.G. 1973. *Evolução Geológica Pré-Cambriana da Faixa Costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 98 p.

D'el-Rey Silva L.J.H. 2005. New Sm-Nd data of (meta) sediments accross the São Francisco Cráton-Sergipano Belt boundary, and from the Arauá dykes: Implications on Provenance Studies. In: *Simpósio sobre o Cráton do São Francisco*, 3, Salvador, agosto, *Anais III SCSF*:155-158.

DePaolo, D. J. and Wasserburg, G. J. 1976. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. *Geophys. Res. Lett.* 3, 743–6.

DePaolo, D. J. 1981. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust – mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291, 193–7.

DePaolo, D.J. 1988. Neodymium isotope geochemistry – an introduction. Berlin, SpringerVerlag. 187p.

Dickin, A. P. 2005. Radiogenic Isotop Geology. School of Geography and Earth Sciences McMaster University, Hamilton, Ontario, 492 p.

Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20:641-644.

Fontes M.P. 2011. Petrografia e Geoquímica dos Traquitos do Enxame de Diques Arauá, Sul do Estado de Sergipe. Monografia de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 57 p.

GIRARDI, A. V. V. et al. Mafic Dykes: Petrogenesis and tectonic inferences. In: HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKIMIM, F. F. (Ed.). **São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent**. Springer, 2017. p. 145-169. (Regional Geology Reviews).

Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanenin B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3):745-750.

Liz, J.D., Soares, V. F., Lenz, C., Liz; L.C.C., Nascimento A.F.; Andrade J.O. 2016. Diques Arauá: Últimas Manifestações Magmáticas do Pós-colisional Orosiriano No Extremo Nordeste Do Cráton São Francisco. Congresso Brasileiro de Geologia, 48, 2016, Porto Alegre - RS, Geoquímica, 2016.

Liz J.D., Liz L. C. C., Soares V. F., C, Lenz C., Andrade J. O., Nascimento A. F. 2017. Diques Arauá: Registro Do Magmatismo Pós-Colisional Orosiriano no Extremo Nordeste do Cráton São Francisco In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 2017, Salvador. Tectônica de Cinturões Orogênicos e Áreas Cratônicas, 2017.

Lugmair, G.W., and Marti, K., 1978, Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: Differential evolution of the lunar crust and mantle: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 39. p. 349–357.

Marinho M.M. 1991. La Séquence Volcano-Sedimentaire de Contendas Mirante et la Bordure Occidentale du Bloc Jequié (Cráton du São Francisco-Brésil): Um exemple de Transition Archéean Protérozoïque. Tese de Doutorado. Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, França, 388 p.

Oliveira, E.C., Lafon, J.M., Gioia, S.M.C.L., and Pimentel, M.M., 2008, Datação Sm-Nd em rocha total e granada do metamorfismo granulítico da região de Tartarugal Grande: Amapá Central: Revista Brasileira Geociências, v. 38, p. 116–129.

Oliveira E.M. 2014. Petrografia, Litogeoquímica e Geocronologia das rochas granulíticas da parte norte do cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia-Sergipe. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Sergipe. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Oliveira Júnior, T. R. Geologia do extremo nordeste do Cráton do São Francisco, Bahia. Dissertação de Mestrado, IG/UFBa, 1990. 126p.

Passos D.R. 2012. Petrografia de Diques Andesíticos na Região de Arauá, Sul do Estado de Sergipe. Monografia de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 67 p.

Pearce J.A., Harris N.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25:956-983.

Pearce J.A. 1996. A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman D.A. (ed.) *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12:79-113.

Peccerillo A., Taylor S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58:63-81.

Rios D.C. 2002. Granitogênese no Núcleo Serrinha: Geocronologia e Litogeoquímica. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Tese de Doutorado, 233-255p.

Santos R.A., Martins A.A M., Neves J.P., Leal R.A. 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa Geológico do Estado de Sergipe. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE.

Santos R.A., Souza J.D. 1983, Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais: Serrinha, folha SC.24-Y-D-V. Salvador, DNPM, 2v.

Santos, R. A. et. al. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe. Texto explicativo do mapa geológico de Sergipe. Brasília: CPRM; Sergipe: CODISE,: 1998. 156 p.

Sato, K, Cordani, U.G. e Teixeira, W. (1998). Principais eventos de acreção manto-crosta continental do Craton de S. Francisco, com base em idade modelo Sm-Nd. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador/Bahia. v6,p525-527.

Santos, E. K. Caracterização Petrológica e Geoquímica do Segmento Nordeste dos Diques Arauá. 2018. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

Silva Filho M.A., Bomfim L.F.C., Santos R.A. Santana A.C., Filho P.A.B., Leal R.A. 1977. Projeto Baixo São Francisco/Vaza Barris: relatório final. Salvador: CPRM, 19v.

Soares, V. F. Petrologia e Geoquímica dos Diques Arauá. 2015. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

Shellnutt J.G., Wang C.Y., Zhou M-F., Yang Y. 2009. Zircon Lu–Hf isotopic compositions of metaluminous and peralkaline A-type granitic plutons of the Emeishan large igneous province (SW China): Constraints on the mantle source. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(1):45-55.

Teixeira W., Sabaté P., Barbosa J.S.F., Noce C.M., Carneiro M.J. 2000. Archean and paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Cráton. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro 31th Intern. Geol. Congr., 101-138.

Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions Mineralogy and Petrology, 95:407-441.

Yang, Y.H., Wu, F.Y., Liu, Z.C., Chu, Z.Y., Xie, L.W., and Yang, J.H., 2012, Evaluation of Sr chemical purification technique for natural geological samples using common cation-exchange and Sr-specific extraction chromatographic resin prior to MC-ICP-MS or TIMS measurement: Journal of Analytical Atomic Spectrometry, v. 27. p. 516–522.